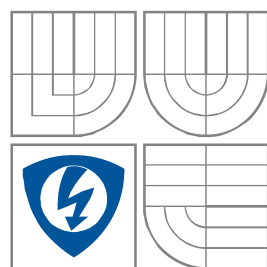


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

SIMULACE PŘENOSU DVB-H A DVB-SH

SIMULATION OF THE DVB-H AND DVB-SH TRANSMISSION

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Luboš Arvai

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Ladislav Polák

BRNO, 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Bc. Luboš Arvai
Ročník: 2

ID: 73098
Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Simulace přenosu DVB-H a DVB-SH

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V úvodní teoretické části práce se seznámte s blokovou strukturou vysílacího a přijímacího řetězce DVB-H a DVB-SH. Prostudujte detailněji funkci kanálového kodéru a modulátoru a jejich parametry používané při vysílání a přijímání obou standardů.

V realizační části práce navrhnete aplikaci s grafickým rozhraním v prostředí MATLAB, umožňující přenosu dat ve vytvořeném modelu systémů DVB-H a DVB-SH.

V experimentální části práce provedte simulaci a zhodnoťte vliv nastavení jednotlivých parametrů na bitovou chybovost datového přenosu a dosažitelný datový tok pro oba standardy.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] FISHER, W. Digital Video and Audio Broadcasting Technology, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. ISBN 978-3-540-76357-4

[2] ETSI TR 102 377. Digital Video Broadcasting (DVB); DVB-H Implementation Guidelines, 2009.

[3] ETSI EN 302 583. Digital Video Broadcasting (DVB); Framing Structure, channel coding and modulation for Satellite Services to Handheld device (SH) below 3 GHz, 2008.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 20.5.2011

Vedoucí práce: Ing. Ladislav Polák

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

ABSTRAKT

Práce se zabývá kanálovým kódováním a modulací v systémech DVB-H a DVB-SH a simulací těchto částí v prostředí MATLAB. U systému DVB-H se zabývá také vlivem různých typů přenosových kanálů na přenos. V první části práce je popsáno kanálové kódování a vnitřní modulace v systémech DVB-H a DVB-SH. V další části práce jsou popsány aplikace vytvořené v programovém prostředí MATLAB pro nastavení a následnou simulaci přenosu v těchto systémech. V poslední části práce jsou graficky prezentovány a diskutovány výsledky simulací.

KLÍČOVÁ SLOVA

DVB-H

DVB-SH

Kanálové kódování + Turbo kódování

Hlubkové prokládání

Gaussovský kanál + Únikové kanály

ABSTRACT

The paper deals with the channel coding and modulation in DVB-H and DVB-SH and with the simulation of the components in MATLAB. In the case of DVB-H the document also discuss the influence of different types of transmission channels on the transmission process. The first part of this work describes the channel coding and inner modulation in DVB-H and DVB-SH. The next part describes applications created in MATLAB for settings and simulation of the transmission in the standards DVB-H and DVB-SH. The last part of this document graphically presents selected results of the simulation of the transmission and discuss them.

KEYWORDS

DVB-H

DVB-SH

Channel coding + Turbo coding

In-depth interleaving

Gaussian channel + Fading channels

ARVAI, L. *Simulace přenosu DVB-H a DVB-SH*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 52 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Ladislav Polák.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Simulace přenosu DVB-H a DVB-SH jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této semestrální práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Ladislavovi Polákovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

| | |
|--|-------------|
| Obsah | vi |
| Seznam obrázků | viii |
| Seznam tabulek | x |
| 1 Úvod | 11 |
| 2 Systém DVB-H | 12 |
| 2.1 Popis systému DVB-H..... | 12 |
| 2.2 MPE-FEC..... | 13 |
| 2.3 Časové segmentování | 14 |
| 2.4 4k mód OFDM a hloubkové prokládání | 15 |
| 2.5 Kanálové kódování | 16 |
| 2.5.1 Zajištění energetického rozptylu..... | 16 |
| 2.5.2 Vnější kodér | 17 |
| 2.5.3 Vnější prokladač | 17 |
| 2.5.4 Vnitřní kodér | 17 |
| 2.5.5 Vnitřní prokladače | 18 |
| 2.6 Mapování a OFDM..... | 20 |
| 3 Systém DVB-SH | 22 |
| 3.1 Popis systému DVB-SH..... | 22 |
| 3.2 Kanálové kódování | 24 |
| 3.2.1 3GPP2 Turbo kodér | 24 |
| 3.2.2 Kanálový prokladač a přizpůsobení poměru | 27 |
| 3.3 Symbolový prokladač a mód 1k | 29 |
| 4 Simulační program pro DVB-H | 31 |
| 4.1.1 Popis hlavního programu | 31 |
| 4.1.2 Znáhodnění přenášených dat | 33 |
| 4.1.3 Reed-Solomonův kodér | 33 |
| 4.1.4 Vnější prokladač | 33 |
| 4.1.5 Konvoluční kodér | 33 |
| 4.1.6 Vnitřní prokladač | 34 |

| | | |
|----------|---------------------------------------|-----------|
| 4.1.7 | Modulátor..... | 35 |
| 4.1.8 | Přenosový kanál..... | 35 |
| 4.1.9 | Demodulátor | 35 |
| 4.1.10 | Vnitřní odprokladač | 35 |
| 4.1.11 | Viterbiho dekodér | 36 |
| 4.1.12 | Vnější odprokladač | 36 |
| 4.1.13 | Reed-Solomonův dekodér..... | 36 |
| 4.1.14 | Deznáhodnění dat | 36 |
| 5 | Simulační program pro DVB-SH-A | 37 |
| 5.1.1 | Popis hlavního programu | 37 |
| 5.1.2 | Turbo kodér..... | 38 |
| 5.1.3 | Bitový a kanálový prokladač | 38 |
| 5.1.4 | Kanálový a bitový odprokladač | 38 |
| 5.1.5 | Turbo dekodér..... | 39 |
| 6 | Výsledky simulací | 40 |
| 6.1 | Simulace standardu DVB-H | 40 |
| 6.1.1 | Simulace AWGN kanálu | 40 |
| 6.1.2 | Riceův kanál | 42 |
| 6.1.3 | Rayleighův kanál | 44 |
| 6.1.4 | Hloubkové prokládání..... | 46 |
| 6.2 | Simulace standardu DVB-SH-A..... | 46 |
| 6.2.1 | AWGN kanál | 46 |
| 7 | Závěr | 49 |
| | Seznam literatury | 50 |
| | Seznam zkratk | 52 |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obr. 2.1: Integrace systému DVB-H do systému DVB-T (převzato z [3]) | 12 |
| Obr. 2.2: Struktura rámce MPE-FEC (převzato z [5])..... | 13 |
| Obr. 2.3: Úspora příkonu časovým segmentováním (převzato z [5])..... | 14 |
| Obr. 2.4: Princip časového segmentování (převzato z [5]) | 14 |
| Obr. 2.5: Princip hloubkového prokládání (převzato z [5])..... | 15 |
| Obr. 2.6: Blokové schéma vysílacího systému DVB-H (převzato z [3]) | 16 |
| Obr. 2.7: Princip obvodu pro zajištění energetického rozptylu (převzato z [8]) | 16 |
| Obr. 2.8: Princip kovolučního kodéru (převzato z [8]) | 17 |
| Obr. 2.9: Princip vytečkování konvolučního kódu (převzato z [7]) | 18 |
| Obr. 2.10: Princip prokládání (převzato z [7]) | 18 |
| Obr. 3.1: Architektura systému DVB-SH (převzato z [10])..... | 22 |
| Obr. 3.2: Architektura systému DVB-SH-A (převzato z [10])..... | 23 |
| Obr. 3.3: Architektura systému DVB-SH-B (převzato z [10])..... | 24 |
| Obr. 3.4: Blokové schéma turbo kodéru (převzato z [9]) | 25 |
| Obr. 3.5: Schéma rekurzivního konvolučního kodéru (převzato z [9])..... | 25 |
| Obr. 3.6: Princip turbo prokladače (převzato z [9])..... | 27 |
| Obr. 3.7: Princip časového prokladače (převzato z [9]) | 29 |
| Obr. 4.1: Grafické rozhraní simulačního programu standardu DVB-H | 31 |
| Obr. 4.2: Vývojový diagram programu pro simulaci DVB-H..... | 32 |
| Obr. 5.1: Vývojový diagram programu pro simulaci DVB-SH-A. | 37 |
| Obr. 5.2: Grafické rozhraní simulačního programu standardu DVB-SH | 38 |
| Obr. 5.3: Schéma turbodekodéru (převzato z [15]) | 39 |
| Obr. 6.1: Závislost BER C/N pro pevný přijímač | 40 |
| Obr. 6.2: Závislost BER na C/N pro přenosný přijímač..... | 41 |
| Obr. 6.3: Závislost BER na C/N pro mobilní přijímač | 41 |
| Obr. 6.4: Závislost BER C/N, pro pevný přijímač | 42 |
| Obr. 6.5: Závislost BER na C/N, pro přenosný přijímač..... | 43 |
| Obr. 6.6: Závislost BER na C/N, pro mobilní přijímač | 43 |
| Obr. 6.7: Závislost BER na C/N, pro pevný přijímač..... | 44 |
| Obr. 6.8: Závislost BER C/N, pro přenosný přijímač..... | 45 |

| | |
|---|----|
| Obr. 6.9: Závislost BER na C/N, pro mobilní přijímač | 45 |
| Obr. 6.10: Závislost BER za turbo dekodérem na C/N, satelitní přijímač | 47 |
| Obr. 6.11: Závislost BER za turbo dekodérem na C/N, přenosný přijímač | 47 |
| Obr. 6.12: Závislost BER za turbo dekodérem na C/N, mobilní přijímač..... | 48 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tab. 2.1 Základní parametry standardu DVB-H (převzato z [6]) | 13 |
| Tab. 2.2: Přehled módů OFDM pro DVB-H a šířku pásma 8MHz (převzato z [5]) | 15 |
| Tab. 2.3: Tabulka bitové permutace pro mód 2k (převzato z [9]) | 20 |
| Tab. 2.4: Tabulka bitové permutace pro mód 4k (převzato z [9]) | 20 |
| Tab. 2.5: Tabulka bitové permutace pro mód 8k (převzato z [9]) | 20 |
| Tab. 3.1: Základní parametry standardu DVB-SH (převzato z [6]) | 23 |
| Tab. 3.2: Vytečkovací vzory pro datovou bitovou periodu (převzato z [9])..... | 26 |
| Tab. 3.3: Vyhledávací tabulka pro $n = 9$ (převzato z [9])..... | 27 |
| Tab. 3.4: Permutační funkce blokového prokladače (převzato z [9])..... | 28 |
| Tab. 3.5: Velikost výstupních bloků prokladače po vytečkování (převzato z [9]) | 28 |
| Tab. 3.6: Tabulka bitové permutace pro mód 1k (převzato z [9]) | 29 |
| Tab. 3.7: Parametry OFDM pro mód 1k a šířku pásma 8 MHz (převzato z [9])..... | 30 |
| Tab. 6.1: C/N pro $BER < 2 \cdot 10^{-4}$, AWGN kanál | 40 |
| Tab. 6.2: Parametry Riceova kanálu [17] | 42 |
| Tab. 6.3: C/N pro $BER < 2 \cdot 10^{-4}$, Riceův kanál | 42 |
| Tab. 6.4: Parametry Rayleighova kanálu [17] | 44 |
| Tab. 6.5: C/N pro $BER < 2 \cdot 10^{-4}$, Rayleighův kanál | 44 |
| Tab. 6.6: Vliv hloubkového prokládání | 46 |
| Tab. 6.7: C/N pro $BER < 10^{-5}$ | 46 |

1 ÚVOD

V dnešní době lze pro mobilní příjem televize využít mobilních sítí hlavně 3G (UMTS – Universal Mobile Telecommunications System) a v budoucnu 4G (LTE – Long Time Evolution). Pro přenos videa a audia se v těchto sítích používá datových přenosů, jedná se o streamované video. Přenosové rychlosti se pohybují v řádu několika set kb/s u UMTS a Mb/s u LTE sítí. Pro příjem takového videa stačí jakýkoliv mobilní telefon, který podporuje datové přenosy. Nevýhodou jsou nízké přenosové rychlosti hlavně u UMTS, negarantovaná kvalita přenosu, velké zatížení sítě spolu s její nedostatečnou kapacitou, velká energetická náročnost pro přijímací zařízení [1], [2].

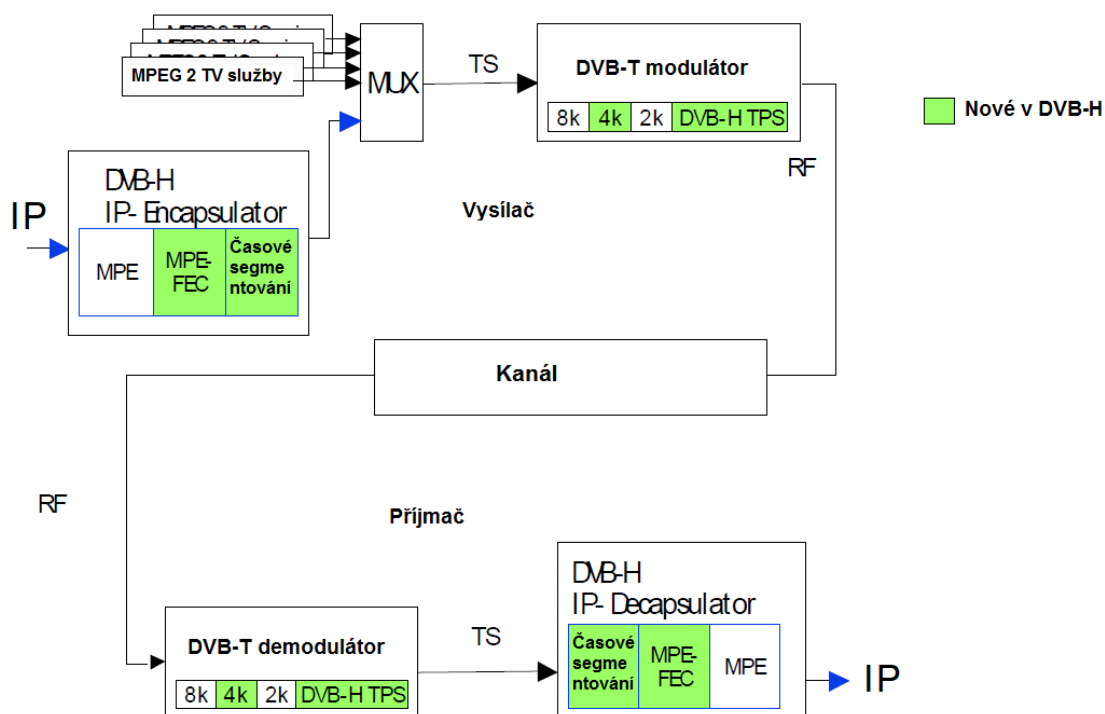
Oproti tomu systémy DVB-H a DVB-SH jsou systémy pro digitální televizní vysílání, pro které musíme mít speciální přijímač. Tento přijímač může být integrován do mobilního telefonu, PDA. Oba tyto systémy vychází ze systému pro pozemské digitální televizní vysílání DVB-T. Existují i další systémy pro mobilní televizi [1].

Tato práce se zaměří na kanálové kódování v systémech DVB-H a DVB-SH. Účelem kanálového kódování je zabezpečit přenášená data proti chybám vzniklým při přenosu. V práci je popsáno kanálové kódování použité v obou systémech. V rámci práce jsou vytvořeny dvě aplikace v MATLABu pro simulaci přenosu v těchto systémech. Obě aplikace jsou také v práci podrobně popsány. Poslední část práce se zabývá simulací přenosu v těchto systémech pomocí vytvořených aplikací.

2 SYSTÉM DVB-H

2.1 Popis systému DVB-H

Pro pozemskou digitální mobilní televizi se používá systém DVB-H (Digital Video Broadcasting – Handheld), který vychází ze systému DVB-T. Systém je upraven pro specifika mobilního příjmu, kterými jsou omezený zdroj energie přijímače a pohyb přijímače. Dalším požadavkem na systém DVB-H byla kompatibilita se systémem DVB-T (Terrestrial), aby bylo možné využít pro vysílání již existující struktury. Systém využívá stávající TV pásma, ale je možné použít i jiné kmitočty. Protože cílová zařízení jsou mobilní telefony, PDA a další zařízení s malými displeji bylo pro DVB-H zvoleno nižší rozlišení obrazu LDTV (Low Definition Television). Pro kódování obrazu je použit kodek MPEG-4/AVC (Moving Picture Experts Group/Advanced Video Coding) s výsledným datovým tokem 384 kb/s. Data systému DVB-H jsou zapouzdřena do IP datagramů, které jsou vloženy pomocí protokolu MPE (MultiProtokol Encapsulation), jako přídatná data v DSM-CC (Data Storage Media Command & Control) tabulkách do MPEG-2 transportního toku, který je přenášen v systému DVB-T. To je ukázáno na Obr. 2.1 [1], [2], [3].



Obr. 2.1: Integrace systému DVB-H do systému DVB-T (převzato z [3])

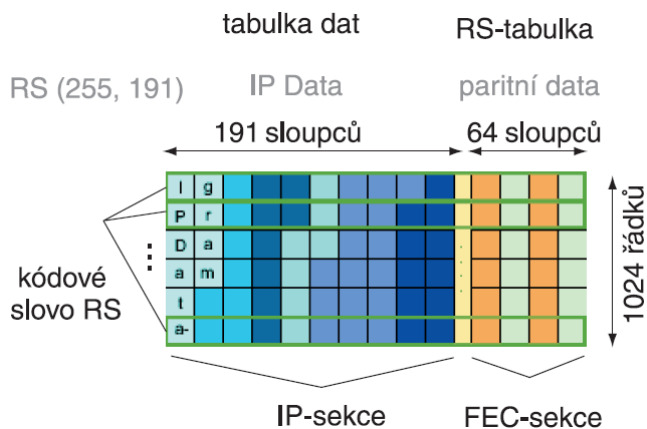
IP datagramy jsou na úrovni MPE (Multi Protocol Encapsulation) a jsou zabezpečeny pomocí Reed-Solomonova kódu (255,191). IP encapsulátor používá pro vytváření transportního toku MPEG-2 speciální techniku časového segmentování, která výrazně šetří baterie přijímače. DVB-H používá oproti DVB-T pro signalizaci na TPS nosných, kde se přenáší informace o parametrech vysílání i dvou rezervovaných bitů. Jeden signalizuje použití časového segmentování a druhý použití zabezpečení MPE-FEC (Forward Error Correction). U DVB-H je také možné využít hloubkové prokládání, které zvyšuje odolnost proti impulznímu rušení. Aby toto prokládání bylo možné použít, musí být mód OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) modulátoru 2k, nebo 4k. Mód 4k OFDM modulátoru je u DVB-H jednou z řady inovací. Základní parametry standardu DVB-H jsou uvedeny v Tab. 2.1 [5].

Tab. 2.1 Základní parametry standardu DVB-H (převzato z [6])

| Multiplex | OFDM |
|-------------------|--|
| Mód | 2k, 4k, 8k |
| Modulace | QPSK, 16-QAM, 64-QAM |
| Kanálové kódování | FEC + MPE-FEC 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8 |
| Ochranný interval | 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 |
| Pásmo | VHF, UHF + L |
| Šířka pásma [MHz] | 5, 6, 7, 8 |

2.2 MPE-FEC

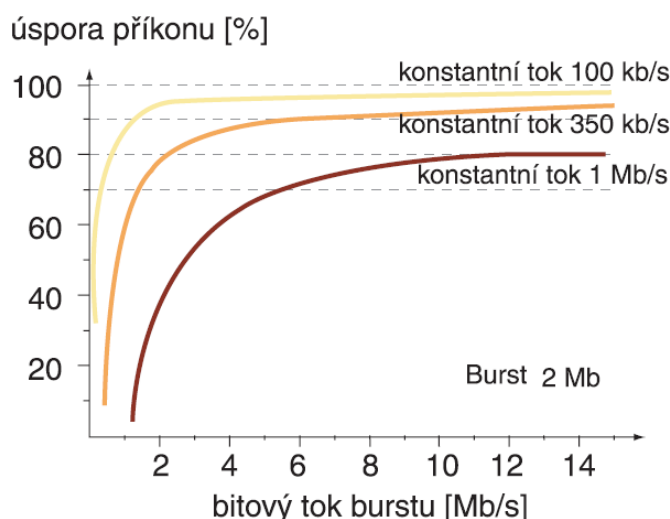
MPE-FEC je přídatný stupeň protichybového zabezpečení. Byl přidán kvůli snížení potřebného odstupu užitečného signálu od šumu při příjmu na mobilní terminály, které nejsou vybaveny anténami s velkým ziskem. MPE-FEC kodér ukládá data po bytech do 191 sloupců matice. Těchto 191 sloupců je potom doplněno 64 sloupci paritních dat Reed-Solomonova kódu RS(255,191), která se počítají po řádcích. Vlastností tohoto postupu je „virtuální“ prokládání, ke kterému dochází, protože data se čtou a zapisují po sloupcích a kódování se provádí po řádcích. Maximální počet řádků tabulky je 1024. Struktura MPE-FEC rámce je na Obr. 2.2 [4], [5].



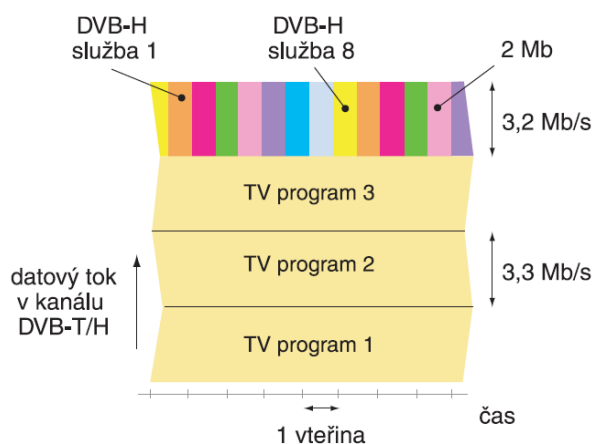
Obr. 2.2: Struktura rámce MPE-FEC (převzato z [5])

2.3 Časové segmentování

Časové segmentování je jednou z hlavních inovací systému DVB-H. Umožňuje snížit spotřebu přijímače. Spočívá v tom, že jednotlivé datové toky (programy) jsou přenášeny v krátkých impulzech (burstech) s vyšší přenosovou rychlostí než je souvislá přenosová rychlost programu. V době mezi bursty je video vyčítáno z vyrovnávací paměti. Bursty pro jednotlivé programy se střídají a přijímač je zapnutý jen v době přenosu burstu sledovaného programu. V každém burstu se přenáší informace o tom, kdy bude vysílán další burst příslušného programu. Tak se zajistí opětovné zapnutí přijímače pro příjem dalšího burstu. Další výhodou tohoto řešení je možnost spojitého handoveru kdy v době mezi jednotlivými bursty může přijímač hledat buňky s lepším signálem pro daný program. Trvání jednoho burstu bývá stovky milisekund a doba mezi bursty bývá několik sekund. Úspora energie je dána poměrem mezi dobou trvání burstu a dobou mezi bursty. Vyjádřena pomocí poměru přenosové rychlosti burstu a konstantní přenosové rychlosti videa je na obr. 2.3. Na obr. 2.4 je princip časového segmentování v DVB-H spolu s přenosem kanálu DVB-T [5].



Obr. 2.3: Úspora příkonu časovým segmentováním (převzato z [5])



Obr. 2.4: Princip časového segmentování (převzato z [5])

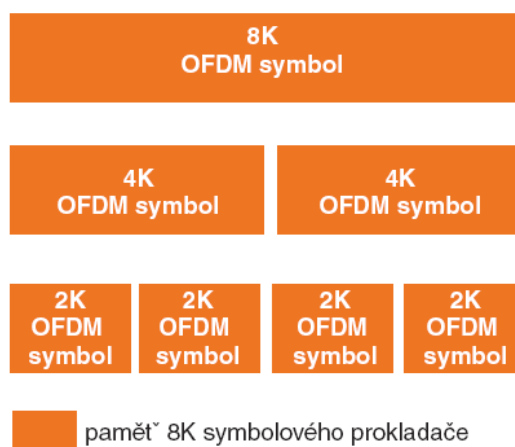
2.4 4k mód OFDM a hloubkové prokládání

Mód 4k vznikl jako kompromis mezi módy 2k a 8k definovanými v DVB-T. Výhodou módu 8k je větší možná vzdálenost vysílačů. Výhodou módu 2k je vysoká odolnost proti Dopplerově jevu při mobilním příjmu. Mód 4k je určen pouze pro síť vysílající jenom DVB-H multiplex. Přenosová kapacita všech módů je stejná a závisí pouze na použité modulaci a ochranném intervalu. Přehled jednotlivých OFDM módů je uveden v Tab 2.2 [5].

Tab. 2.2: Přehled módů OFDM pro DVB-H a šířku pásma 8MHz (převzato z [5])

| Mód | 2k | 4k | 8k |
|---------------------------------------|----------|----------|----------|
| Počet bodů IFFT | 2048 | 4096 | 8192 |
| Počet nosných | 1705 | 3409 | 6817 |
| Počet aktivních nosných | 1512 | 3024 | 6048 |
| Počet kontinuálních nosných | 45 | 89 | 177 |
| Počet rozptýlených nosných | 131 | 262 | 524 |
| Počet nosných TPS | 17 | 34 | 68 |
| Užitečná část symbolu [ms] | 224 | 448 | 896 |
| Rozteč nosných [kHz] | 4,464 | 2,232 | 1,116 |
| Ochranný interval | 1/4-1/32 | 1/4-1/32 | 1/4-1/32 |
| Doba trvání ochranného intervalu [ms] | 56-7 | 112-14 | 224-28 |
| Doba trvání symbolu [ms] | 280-231 | 560-462 | 1120-924 |
| Maximální vzdálenost vysílačů [km] | 16,8-2,1 | 33,6-4,8 | 67,2-8,4 |

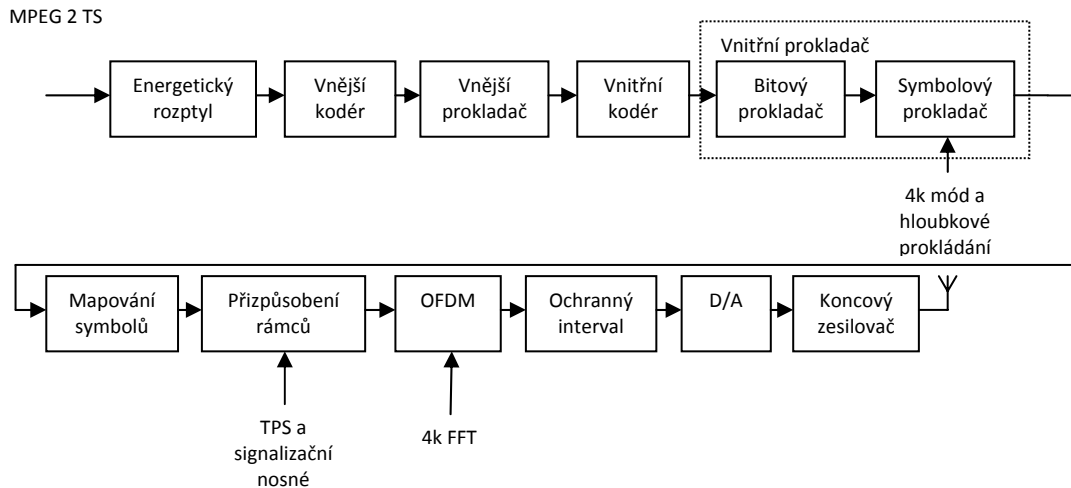
Hloubkové prokládání je možné použít jako poslední krok zabezpečení proti chybám FEC v případě, že je použit jiný mód OFDM než 8k. Symbolový prokladač má paměť pro 6048 symbolů. Je-li použit mód 2k, tak je těchto 6048 proložených symbolů namapováno do 4 OFDM symbolů. Pro mód 4k jsou tyto symboly mapovány do 2 OFDM symbolů. V případě že není hloubkové prokládání použito, tak se při módu 2k mapuje pouze 1512 proložených symbolů a při módu 4k 3024 symbolů. Princip hloubkového prokládání je znázorněn na Obr. 2.5 [5].



Obr. 2.5: Princip hloubkového prokládání (převzato z [5])

2.5 Kanálové kódování

Po vytvoření transportního toku je signál DVB-H zpracován vysílacím systémem, který vychází ze standardu DVB-T a který musí zohledňovat několik odlišností systému DVB-H. Blokové schéma takového systému je na Obr. 2.6 [3].

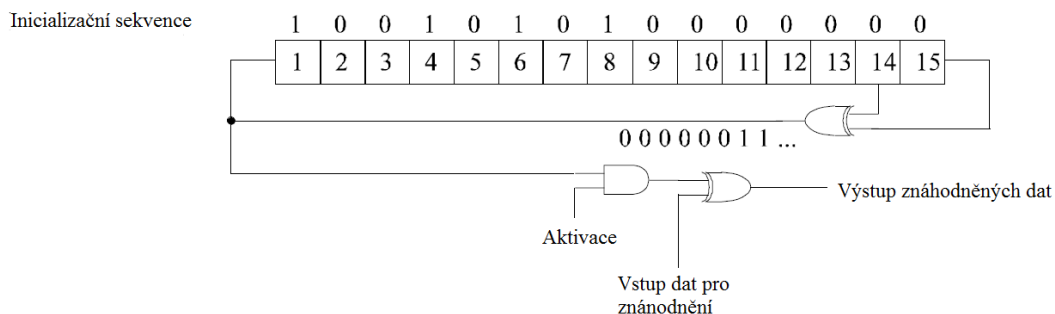


Obr. 2.6: Blokové schéma vysílacího systému DVB-H (převzato z [3])

Kanálové kódování zabezpečuje přenášená data proti chybám při přenosu. Prvním krokem je zajištění energetického rozptylu, následuje zabezpečení vnějším RS (255,191) kódem, vnější symbolový prokladač, vnitřní konvoluční kodér, vnitřní bitový a vnitřní symbolový prokladač [3], [7].

2.5.1 Zajištění energetického rozptylu

Energetický rozptyl datového toku se zajistí jeho znáhodněním. To se děje pomocí pseudonáhodné posloupnosti, se kterou se datový tok sloučí pomocí logické funkce XOR. V přijímači se energeticky rozptýlený datový tok musí znovu sloučit pomocí funkce XOR se stejnou pseudonáhodou posloupností. Obě posloupnosti musí být synchronní. V přijímači i vysílači je použit stejný obvod jeho princip je na Obr. 2.7 [7], [8].



Obr. 2.7: Princip obvodu pro zajištění energetického rozptylu (převzato z [8])

2.5.2 Vnější kodér

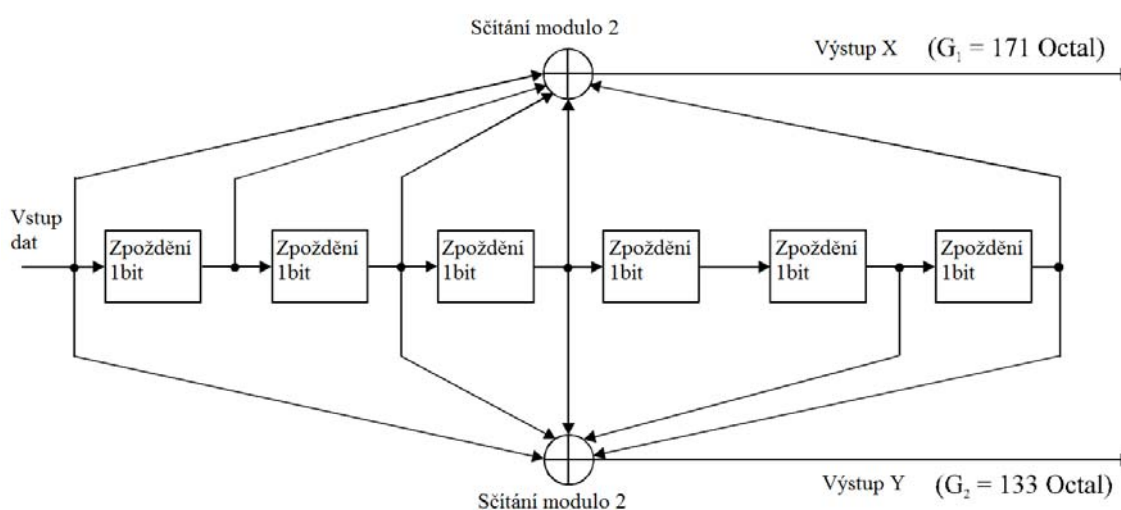
Je použit Reed-Solomonův kód RS (255,191). Kód k 191 užitečným symbolům přidá 64 paritních symbolů. Tento kód je schopen opravit, až 32 chyb. V DVB-T se používá zkrácený kód RS (204,188), který k 188 užitečným symbolům přidá 16 paritních symbolů a je schopen opravit 8 chybných symbolů. Reed-Solomonovy kódy patří mezi blokové symbolové kódy, které opravují chybné symboly nezávisle na tom, který bit v symbolu je chybný. Chybová korekce musí najít chybný symbol a musí určit jeho skutečnou hodnotu [7], [8].

2.5.3 Vnější prokladač

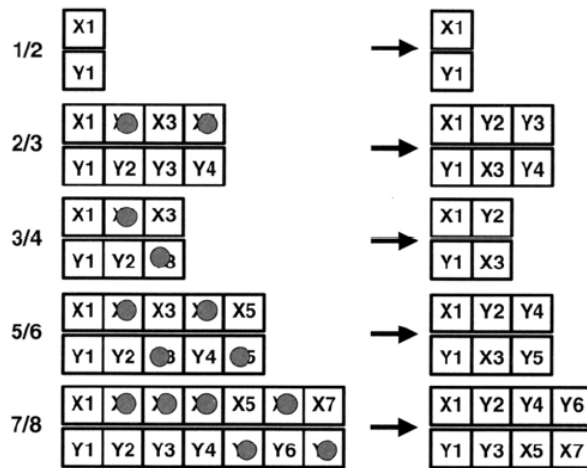
Jedná se o prokladač s hloubkou prokládání I a základním zpožděním M [7]. Používá se pro odstranění dlouhých shlukových chyb. Prokládání probíhá na úrovni symbolů. Funkce prokladače je totožná s vnitřním prokladačem a je vysvětlena v kapitole 2.5.5 [7], [8].

2.5.4 Vnitřní kodér

Je použit konvoluční kód s poměrem $R = 1/2$ a délkou působení $K = 7$. Může být použit i kód s poměrem $2/3$, $3/4$, $5/6$ a $7/8$. Je to binární kód, u kterého jsou vstupní data rozprostřena do několika přenášených symbolů. Účinnost kódování roste s délkou působení kódu. Nevýhodou kódu s poměrem $1/2$ je velké množství přidávaných zbytečných dat. Přenáší se dvakrát více dat než je nutné. Řešením, za cenu snížení mohutnosti protichybového zabezpečení, je zúžení konvolučního kódu, tzv. vytečkování. To je provedeno tak, že nejsou přeneseny všechny bity kódu, ale je vynechán každý n -tý bit. Princip vytečkování konvolučního kódu je na Obr. 2.9. Konvoluční kodér je posuvný registr s několika výstupy. Princip konvolučního kodéru je na Obr. 2.8. Pro dekódování konvolučního kódu se používá Viterbiho dekodér, který určuje nejpravděpodobnější hodnotu přijatého bitu [7].



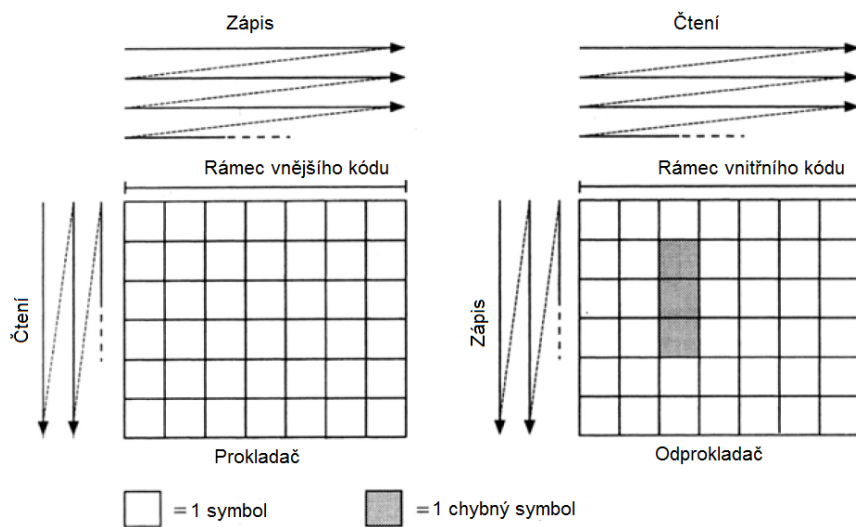
Obr. 2.8: Princip konvolučního kodéru (převzato z [8])



Obr. 2.9: Princip vytečkování konvolučního kódu (převzato z [7])

2.5.5 Vnitřní prokladače

Vnitřní prokladač je první, který pracuje se signálem na úrovni bitů. Princip prokládání je v tom, že symboly jsou do paměťové matice zapisovány po řádcích a vyčítány z této matice jsou po sloupcích. Na přijímací straně jsou zapisovány po sloupcích a čteny po řádcích. Tím se dva po sobě jdoucí symboly pro přenos od sebe vzdálí na vzdálenost danou počtem sloupců paměťové matice. Princip prokládání je ilustrován na Obr. 2.10 [7], [8].



Obr. 2.10: Princip prokládání (převzato z [7])

V bitovém prokladači je vstupní datový tok rozdělen do v dílčích datových toků. Pro modulaci QPSK do dvou, pro modulaci 16QAM do čtyř a pro modulaci 64QAM do šesti. Každý dílčí datový tok je potom proložen vlastním bitovým prokladačem. Pro každý bitový prokladač je vstupní vektor definován jako

$$B(e) = (b_{e,0}, b_{e,1}, b_{e,2}, \dots, b_{e,125}), \quad (1)$$

kde e nabývá hodnot od 0 do $v-1$.

Proložený výstupní vektor potom vypadá následovně

$$A(e) = (a_{e,0}, a_{e,1}, a_{e,2}, \dots, a_{e,125}), \quad (2)$$

kde

$$a_{e,w} = b_{e,H(w)}, \quad (3)$$

kde $w = 0,1,2,\dots,125$ a kde $H(w)$ je permutační funkce, která je pro každý prokladač různá. Permutační funkce $H(w)$ pro jednotlivé prokladače jsou následující

$$I0: H0(w) = w, \quad (4)$$

$$I1: H1(w) = (w + 63) \bmod 126, \quad (5)$$

$$I2: H2(w) = (w + 105) \bmod 126, \quad (6)$$

$$I3: H3(w) = (w + 42) \bmod 126, \quad (7)$$

$$I4: H4(w) = (w + 21) \bmod 126, \quad (8)$$

$$I5: H5(w) = (w + 84) \bmod 126. \quad (9)$$

Výše popsané prokládání platí pro nehierarchickou modulaci. Je možné použít i hierarchickou modulaci. V celé práci je uvažována pouze nehierarchická modulace [8].

Za ním následuje symbolový prokladač, který u systému DVB-H při použití módu OFDM 2k nebo 4k umožňuje hloubkové prokládání, popsané v kapitole 2.4. Tento prokladač slouží k přeskládání bitového slova na odpovídající počet aktivních nosných daných módem OFDM. Při módu 2k je vektor Y' tvořen z 12 skupin po 126 datových slovech. Při módu 4k je tento vektor tvořen 24 skupinami po 126 slovech a při módu 8k to je 48 skupin po 126 datových slovech. Celkový počet prvků vektoru Y' je roven součinu počtu skupin a počtu slov ve skupině. Vektor prokládání je definován následovně

$$Y = (y_0, y_1, y_2, \dots, y_{N_{max}-1}) \quad (10)$$

$$y_{H(q)} = y'_q \text{ pro sudé symboly a } q = 0, \dots, N_{max}-1 \quad (11)$$

$$y_q = y'_{H(q)} \text{ pro liché symboly a } q = 0, \dots, N_{max}-1, \quad (12)$$

kde N_{max} je počet aktivních nosných v módu OFDM a $H(q)$ je permutační funkce, která je definována následovně. (N_r-1) bitové binární slovo R'_i je definované následovně

$$N_r = \log_2(M_{max}), \quad (13)$$

kde M_{max} je celkový počet nosných ve zvoleném módu OFDM. R'_i potom nabývá následujících hodnot

$$i = 0,1: \quad R'_i [N_r-2, N_r-3, \dots, 1, 0] = 0, 0, \dots, 0, 0 \quad (14)$$

$$i = 2: \quad R'_i [N_r-2, N_r-3, \dots, 1, 0] = 0, 0, \dots, 0, 1 \quad (15)$$

$$2 < i < M_{max}: \quad \{ R'_i [N_r-3, N_r-4, \dots, 1, 0] = R'_{i-1} [N_r-2, N_r-3, \dots, 2, 1]; \quad (16)$$

$$\text{pro mód 2k:} \quad R'_i [9] = R'_{i-1} [0] \oplus R'_{i-1} [3] \quad (17)$$

$$\text{pro mód 4k:} \quad R'_i [10] = R'_{i-1} [0] \oplus R'_{i-1} [2] \quad (18)$$

$$\text{pro mód 8k:} \quad R'_i [11] = R'_{i-1} [0] \oplus R'_{i-1} [1] \oplus R'_{i-1} [4] \oplus R'_{i-1} [6] \}. \quad (19)$$

Vektor R_i je vytvořený z vektoru R'_i podle bitových permutací udaných v Tab. 2.3 až 2.5.

Tab. 2.3: Tabulka bitové permutace pro mód 2k (převzato z [9])

| | | | | | | | | | | |
|--------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pozice bitů R'_i | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| Pozice bitů R_i | 0 | 7 | 5 | 1 | 8 | 2 | 6 | 9 | 3 | 4 |

Tab. 2.4: Tabulka bitové permutace pro mód 4k (převzato z [9])

| | | | | | | | | | | | |
|--------------------|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pozice bitů R'_i | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| Pozice bitů R_i | 7 | 10 | 5 | 8 | 1 | 2 | 4 | 9 | 0 | 3 | 6 |

Tab. 2.5: Tabulka bitové permutace pro mód 8k (převzato z [9])

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|----|----|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|
| Pozice bitů R'_i | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| Pozice bitů R_i | 5 | 11 | 3 | 0 | 10 | 8 | 6 | 9 | 2 | 4 | 1 | 7 |

Permutační funkce $H(q)$ je definována následujícím algoritmem

$$\begin{aligned}
 &q = 0 \\
 &\text{for } (i = 0,; i < M_{max}; i = i+1) \\
 &\quad \{H(q) = i \bmod 2\} \cdot 2^{Nr-1} + \sum_{j=0}^{Nr-2} R_i(j) \cdot 2^j \\
 &\quad \text{if } (H(q) < N_{max}) \quad q = q+1 \} \text{ [8], [9]}.
 \end{aligned} \tag{20}$$

2.6 Mapování a OFDM

Systém DVB-H používá pro přenos ortogonální frekvenčně dělený multiplex, tzv. OFDM. Všechny aktivní nosné v OFDM rámci jsou modulovány pomocí jedné z vnitřních modulací. Jako vnitřní modulace se u systému DVB-H používají modulace QPSK, která přenáší 2 bity na symbol, 16QAM, která přenáší 4 bity na symbol a 64QAM, která přenáší 6 bitů na symbol. Hodnoty bodů v konstelačním diagramu se dají vyjádřit jako komplexní číslo $z = \{n + j m\}$. Hodnoty m a n pro jednotlivé body v konstelačním diagramu následující

- pro modulaci QPSK:
 $n = \{-1, 1\}$
 $m = \{-1, 1\}$
- pro modulaci 16QAM:
 $n = \{-3, -1, 1, 3\}$
 $m = \{-3, -1, 1, 3\}$
- pro modulaci 64QAM:
 $n = \{-7, -5, -3, -1, 1, 3, 5, 7\}$
 $m = \{-7, -5, -3, -1, 1, 3, 5, 7\}$ [8], [9].

V systému DVB-H je možné použít i hierarchický mód přenosu, kdy jsou hodnoty n a m jiné. Počet aktivních nosných v OFDM rámci závisí na zvoleném módu OFDM.

Pro mód 2k je to 1512 nosných, v módu 4k je to 3024 nosných a v módu 8k je to 6048 nosných. Ostatní nosné se využívají pro přenos signalizace TPS a jako pilotní nosné. Tato práce se zaměřuje na kanálové kódování a proto i vytvořená aplikace v programu MATLAB bude sloužit pro analýzu kanálového kódování, proto je popis struktury OFDM rámce vynechán. Stejně tak jako ochranný interval, který se vkládá pro omezení vlivu vícecestného šíření signálu [8], [9].

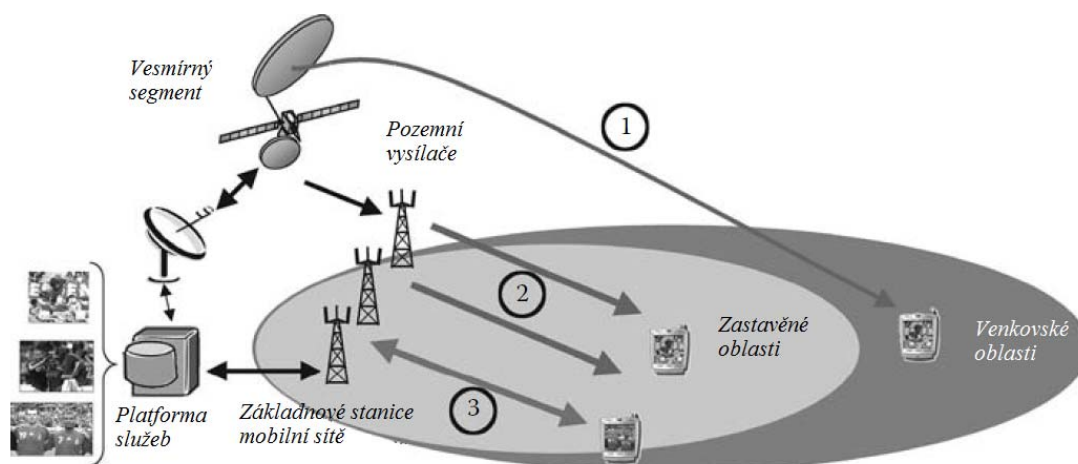
3 SYSTÉM DVB-SH

3.1 Popis systému DVB-SH

Systém DVB-SH (Satellite to Handheld) se používá pro hybridní satelitně-pozemskou mobilní televizi. Systém vychází ze standardu DVB-H a využívá některé principy ze standardu DVB-S2. Systém je upraven pro specifika mobilního příjmu satelitního vysílání, kdy přijímaný signál má nízký poměr C/N. Z toho důvodu je upraveno kanálové kódování, kde je použit turbo kód a jiné způsoby prokládání než v systému DVB-H. Turbo kódy byly vyvinuty pro příjem signálů s nízkým poměrem C/N. V nezastavěných oblastech se počítá s přímým příjmem satelitního signálu vysílaného v S pásmu okolo frekvence 2,2 GHz. V zastavěných oblastech se počítá s příjmem signálu z pozemních vysílačů, pracujících na stejné frekvenci jako satelity, nebo v některém ze současných TV pásem. Síť pozemních vysílačů by také umožnila přijímat regionální TV vysílání. Systém obsahuje dvě vysílací schémata:

- SH-A: používá pro satelitní i pozemní vysílání systém OFDM
- SH-B: používá pro satelitní vysílání časově děleného multiplexu (TDM), který vychází ze standardu DVB-S2 a pro pozemní vysílání používá systém OFDM [1], [9], [10].

Architektura systému DVB-SH je znázorněná na Obr. 3.1.



Obr. 3.1: Architektura systému DVB-SH (převzato z [10])

Systém DVB-SH oproti systému DVB-H obsahuje několik inovací:

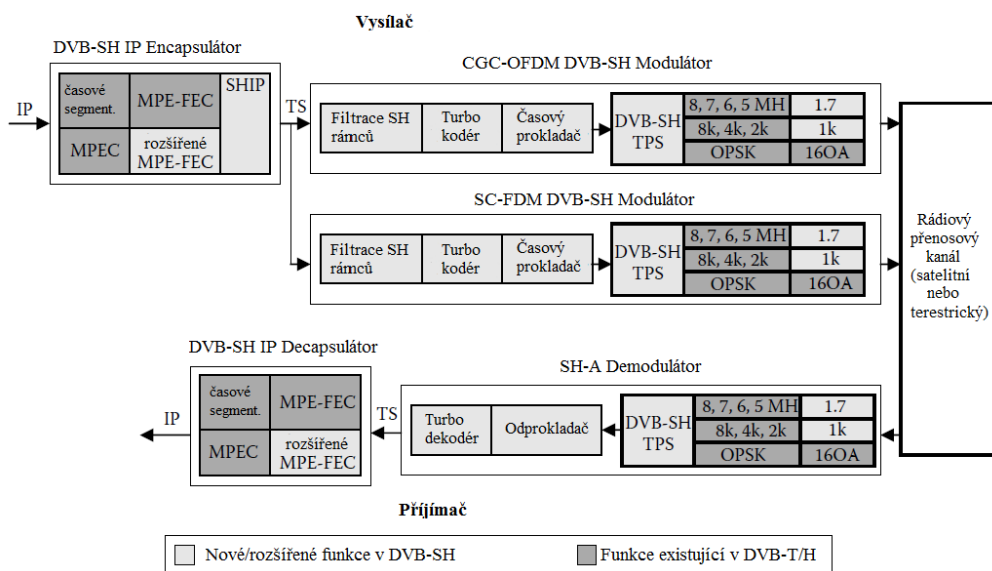
- Přenosový kanál o šířce 1,7 MHz
- OFDM mód 1k
- Kanálové kódování používá 3GPP2 Turbo kodér
- Velmi flexibilní nastavení prokládání

- Není použita vnitřní modulace 64QAM u OFDM.

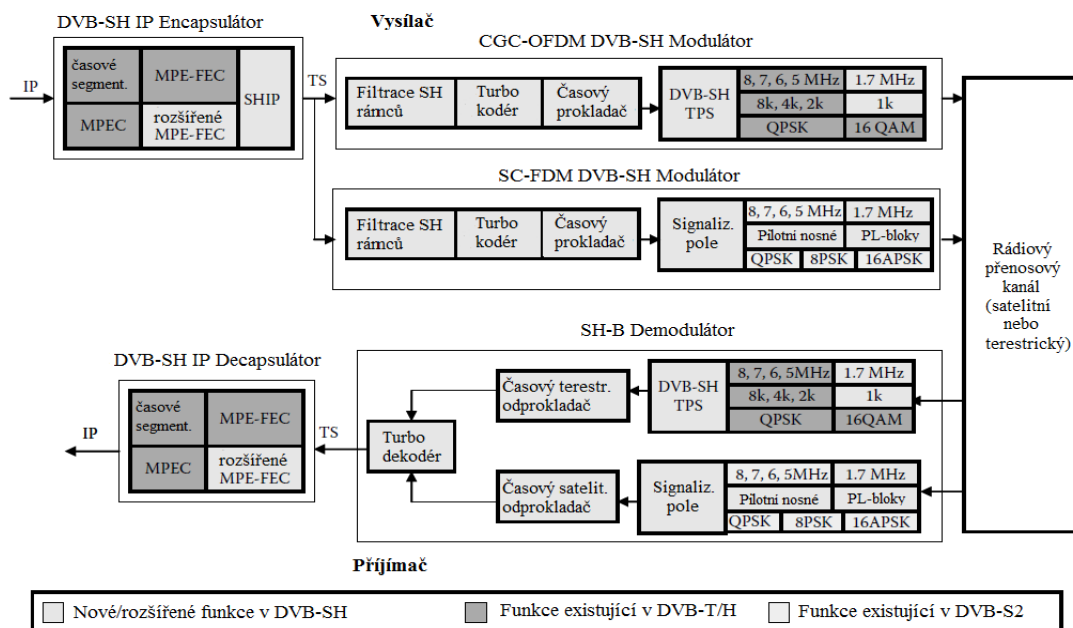
Základní parametry systému DVB-SH jsou v Tab. 3.1. Architektura systému DVB-SH-A je na Obr. 3.2, na Obr. 3.3 je architektura systému DVB-SH-B. Práce se zabývá pouze systémem DVB-SH-A, a proto je podrobnější popis systému DVB-SH-B vynechán [1], [10].

Tab. 3.1: Základní parametry standardu DVB-SH (převzato z [6])

| | |
|-------------------|----------------------|
| Multiplex | OFDM, TDM |
| Mód | 1k, 2k, 4k, 8k |
| Modulace | QPSK, 16-QAM |
| Kanálové kódování | 3GPP2 |
| Ochranný interval | 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 |
| Pásmo | VHF, UHF + S |
| Šířka pásma [MHz] | 1,7; 5, 6, 7, 8 |



Obr. 3.2: Architektura systému DVB-SH-A (převzato z [10])



Obr. 3.3: Architektura systému DVB-SH-B (převzato z [10])

3.2 Kanálové kódování

Kanálové kódování je v systému DVB-SH upraveno pro bezchybný příjem i při malém poměru C/N. Oproti DVB-H je použit pouze jeden zabezpečovací kód z kategorie turbo kódů. Za tímto kódem následuje několik prokladačů.

3.2.1 3GPP2 Turbo kódér

Používá se Turbo kód standardizovaný organizací 3GPP2. Další kódovací poměry s ohledem na původně definované poměry v 3GPP2 Turbo kódu umožňují jemnější stupňování poměru C/N a nastavování kódu pro OFDM i TDM (Time Division Multiplex) mód [9].

Turbo kódér se skládá ze dvou paralelních systematických a rekurzivních konvolučních kódérů. Během kódování je na výstup kódérů přidána přídatná bitová sekvence. Ke každému rekurzivnímu konvolučnímu kódér je přidána na výstup jedna bitová sekvence, která je shodná se vstupní sekvencí tohoto kódér. Turbo kódér generuje

$$(L_{TC-in} + 6)/CR \quad (21)$$

výstupních bitů v případě, že počet vstupních bitů L_{TC-in} je stejný jako počet zakódovaných bitů, toto platí pro každý kódovací poměr. CR je v tomto případě kódovací poměr. Dva rekurzivní konvoluční kódy se nazývají složkové kódy turbo kódu. Složkové kódy se vytečkovávají a opakují pro zachování počtu výstupních symbolů udaného vzorcem (21). Počet vstupních bitů L_{TC-in} musí být 12 282 bitů pro tok užitečných dat. Blokové schéma turbo kódér je na Obr. 3.4. Na Obr. 3.5 je schéma rekurzivního konvolučního kódér [9].

Tab. 3.2: Vytečkovávací vzory pro datovou bitovou periodu (převzato z [9])

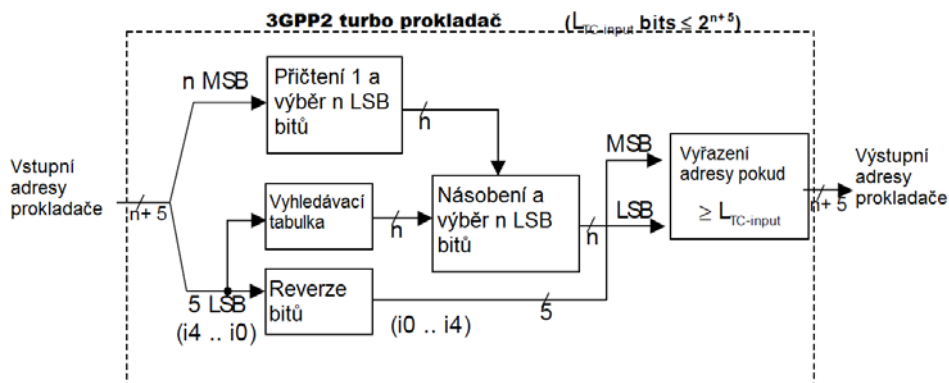
| Kódovací poměr | Název | Vytečkovávací vzor | (X;Y ₀ ;Y ₁ ;X';Y' ₀ ,Y' ₁ ; X;Y ₀ ;...) |
|----------------|-----------|---|---|
| 1/5 | Standard | 1;1;1;0;1;1 | |
| 2/9 | Standard | 1;0;1;0;1;1; 1;1;1;0;1;1; 1;1;1;0;0;1; 1;1;1;0;1;1 | |
| 1/4 | Standard | 1;1;1;0;0;1; 1;1;0;0;1;1 | |
| 2/7 | Standard | 1;0;1;0;0;1; 1;0;1;0;1;1; 1;0;1;0;0;1; 1;1;1;0;0;1 | |
| 1/3 | Standard | 1;1;0;0;1;0 | |
| 1/3 | Doplňkový | 1;0;1;0;0;1 | |
| 2/5 | Standard | 1;0;0;0;0;0; 1;0;1;0;0;1; 0;0;1;0;0;1; 1;0;1;0;0;1; 1;0;1;0;0;1; 0;0;1;0;0;1; 1;0;1;0;0;1; 1;0;1;0;0;1; 0;0;1;0;0;1; 1;0;1;0;0;1; 1;0;1;0;0;1; 0;0;1;0;0;1 | |
| 2/5 | Doplňkový | 1;1;0;0;1;0; 0;1;0;0;1;0; 1;1;0;0;1;0; 1;1;0;0;1;0; 0;1;0;0;1;0; 1;0;0;0;0;0; 1;1;0;0;1;0; 0;1;0;0;1;0; 1;1;0;0;1;0; 1;1;0;0;1;0; 0;1;0;0;1;0; 1;1;0;0;1;0 | |
| 1/2 | Standard | 1;1;0;0;0;0; 1;0;0;0;1;0 | |
| 1/2 | Doplňkový | 1;0;0;0;1;0; 1;1;0;0;0;0 | |
| 2/3 | Standard | 1;0;0;0;0;0; 1;0;0;0;0;0; 1;0;0;0;0;0; 1;0;1;0;0;1 | |
| 2/3 | Doplňkový | 1;0;0;0;0;0; 1;0;1;0;0;1; 1;0;0;0;0;0; 1;0;0;0;0;0 | |

Turbo prokladač funguje tak, že celá vstupní sekvence bitů je postupně zapisována do pole s posloupností adres. Poté je celá sekvence přečtena ze sekvence adres, která je definována následujícím postupem:

1. Určí se parametr n , což je nejmenší celé číslo pro které platí $L_{TC-in} < 2^{n+5}$.
2. Nastaví se $(n + 5)$ bitový čítač na 0.
3. Vezme se n nejvýznamnějších bitů z čítače a přičte se 1, tak se získá nová hodnota. Potom se odstraní všechny zbývající bity z této nové hodnoty, kromě n nejméně významných bitů.
4. Najde se n bitový výstup z vyhledávací tabulky (Tab. 3.3) podle pěti nejméně významných bitů čítače.
5. Vynásobí se čísla získaná v bodě 3. a 4., potom se odstraní z výsledku všechny bity kromě n nejméně významných bitů.
6. Provede se reverze pořadí pěti nejméně významných bitů vstupní adresy čítače.
7. Určí se přibližná výstupní adresa tak, že nejvýznamnější bity adresy jsou rovné hodnotě získané v bodě 6. a nejméně významné bity jsou rovné hodnotě získané v bodě 5.

8. Porovnáme přibližnou výstupní adresu s L_{TC-in} a pokud je menší, tak ji akceptujeme, jinak opakujeme kroky 3. až 8.

Hodnota n pro vstupní blok prokladače o velikosti 12 282 bitů je 9. Princip turbo prokladače je na Obr. 3.6 [9].



Obr. 3.6: Princip turbo prokladače (převzato z [9])

Tab. 3.3: Vyhledávací tabulka pro $n = 9$ (převzato z [9])

| Index | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------|----|-----|----|----|----|---|-----|----|----|---|-----|
| Výstup | 13 | 335 | 87 | 15 | 15 | 1 | 333 | 11 | 13 | 1 | 121 |

| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
|-----|----|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|-----|-----|
| 155 | 1 | 175 | 421 | 5 | 509 | 215 | 47 | 425 | 295 | 229 |

| 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
|-----|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|
| 427 | 83 | 409 | 387 | 193 | 57 | 501 | 313 | 489 | 391 |

3.2.2 Kanálový prokladač a přizpůsobení poměru

Kanálově časový prokladač se skládá ze dvou jednoduchých prokladačů za sebou. Blokovaný bitový prokladač pracuje se zakódovanými datovými slovy z výstupu turbo kodéru. Časový konvoluční prokladač pracuje s prokládacími jednotkami dlouhými 126 bitů. Přizpůsobení poměru se děje na výstupu bitového prokladače a jeho účelem je upravit velikost zakódovaných datových slov tak, aby byla beze zbytku dělitelná 126 [9].

Do blokového prokladače vstupují bloky užitečných dat ve velikosti 12 282 bitů. Vstupní vektor prokladače je definován následovně

$$B = (b_0, b_1, b_2, \dots, b_{NTCB-1}), \quad (22)$$

kde N_{TBC} je počet bitů ve vstupním bloku dat. Výstupní proložený vektor je definován

$$A = (a_0, a_1, a_2, \dots, a_{NTCB-1}). \quad (23)$$

Platí

$$a_w = b_{H(w)}, \quad (24)$$

kde w nabývá hodnot od 0 do $N_{TCB}-1$. Permutační funkce prokladače v závislosti na kódovacím poměru je v Tab. 3.4 [9].

Tab. 3.4: Permutační funkce blokového prokladače (převzato z [9])

| Kódový poměr | N_{TCB} | Permutační funkce |
|--------------|-----------|-------------------------------------|
| 1/5 | 61 440 | $H(w)=(247 \times w) \bmod 61\,440$ |
| 2/9 | 55 296 | $H(w)=(245 \times w) \bmod 55\,296$ |
| 1/4 | 49 152 | $H(w)=(221 \times w) \bmod 49\,152$ |
| 2/7 | 43 008 | $H(w)=(197 \times w) \bmod 43\,008$ |
| 1/3 | 36 864 | $H(w)=(185 \times w) \bmod 36\,864$ |
| 2/5 | 30 720 | $H(w)=(167 \times w) \bmod 30\,720$ |
| 1/2 | 24 576 | $H(w)=(157 \times w) \bmod 24\,576$ |
| 2/3 | 18 432 | $H(w)=(125 \times w) \bmod 18\,432$ |

Za účelem optimalizace mapování do rámců DVB-SH je v proloženém užitečném bloku dat každá posloupnost 128 bitů zkrácena na 126 bitů tak, že poslední 2 bity jsou odstraněny. Výstupní vektor blokového prokladače po vytečkování je definován takto

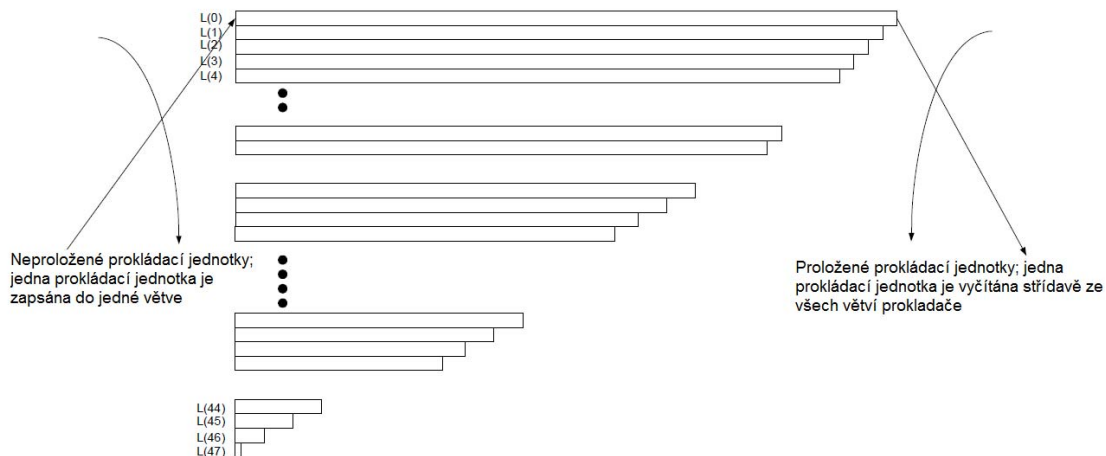
$$X = (x_0, x_1, \dots, x_{N_{BIL}-1}) = (a_0, a_1, \dots, a_{125}, a_{128}, a_{129}, \dots, a_{253}, a_{256}, \dots, a_{N_{TCB}-3}), \quad (25)$$

kde N_{BIL} je počet výstupních bitů prokladače po vytečkování. Velikost výstupních bloků prokladače po vytečkování je uvedena v Tab. 3.5, kde N_{PB} je počet vytečkových bitů [9].

Tab. 3.5: Velikost výstupních bloků prokladače po vytečkování (převzato z [9])

| Kódový poměr | N_{TCB} | N_{BIL} | N_{PB} |
|--------------|-----------|-----------|----------|
| 1/5 | 61 440 | 60 480 | 960 |
| 2/9 | 55 296 | 54 432 | 864 |
| 1/4 | 49 152 | 48 384 | 768 |
| 2/7 | 43 008 | 42 336 | 672 |
| 1/3 | 36 864 | 36 288 | 576 |
| 2/5 | 30 720 | 30 240 | 480 |
| 1/2 | 24 576 | 24 192 | 384 |
| 2/3 | 18 432 | 18 144 | 288 |

Jako časový prokladač se používá konvoluční prokladač. Vstupem tohoto prokladače jsou prokládací jednotky o délce 126 bitů. Počet větví prokladače musí být 48. Větvě musí být cyklicky připojovány k vstupnímu toku dat a stejně tak výstupní tok dat musí být cyklicky připojován k jednotlivým větvím. Oba přepínače, vstupní i výstupní, musí být synchronní. Každá z j větví prokladače je tvořena posuvným FIFO registrem s délkou j prokládacích jednotek. Princip časového prokladače je na Obr. 17 [9].



Obr. 3.7: Princip časového prokladače (převzato z [9])

3.3 Symbolový prokladač a mód 1k

Účel symbolového prokladače je u systému DVB-SH stejný jako u systému DVB-H. Systém DVB-SH umožňuje používat mód OFDM 1k s 756 aktivními nosnými. Navíc vektor Y' je jinak uspořádaný než u systému DVB-H. Pro mód 1k je vektor Y' tvořen 36 skupinami po 21 datových slovech. Při módu 2k je vektor Y' tvořen 72 skupinami po 21 datových slovech, při módu 4k je to 144 skupin po 21 datových slovech a při módu 8k je to 288 skupin po 21 datových slovech. K vztahům (14) až (19) přibude ještě následující vztah

$$\text{pro mód 1k:} \quad R'_i[8] = R'_{i-1}[0] \oplus R'_{i-1}[5]. \quad (26)$$

Mód 1k má také vlastní tabulku bitových permutací. (Tab 3.6) [9]

Tab. 3.6: Tabulka bitové permutace pro mód 1k (převzato z [9])

| | | | | | | | | | |
|--------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pozice bitů R'_i | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| Pozice bitů R_i | 7 | 5 | 1 | 8 | 2 | 6 | 0 | 3 | 4 |

V Tab. 3.7 jsou uvedeny základní parametry OFDM pro mód 1k a šířku pásma 8 MHz.

Tab. 3.7: Parametry OFDM pro mód 1k a šířku pásma 8 MHz (převzato z [9])

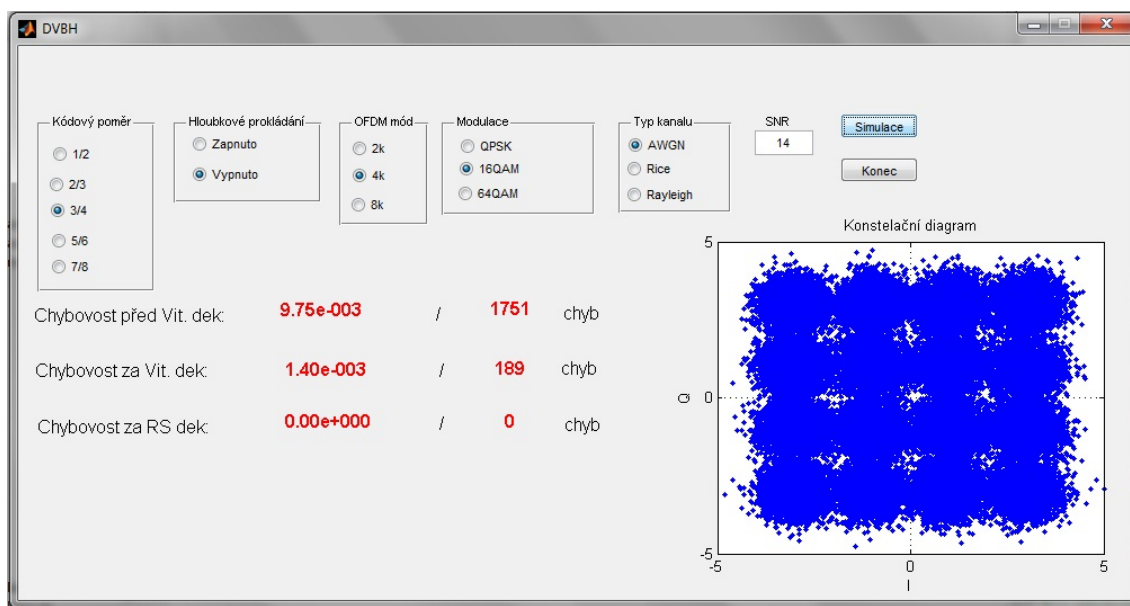
| | |
|---------------------------------------|-----------|
| Mód | 1k |
| Počet bodů IFFT | 1024 |
| Počet nosných | 853 |
| Počet aktivních nosných | 756 |
| Užitečná část symbolu [ms] | 112 |
| Rozteč nosných [kHz] | 8,929 |
| Ochranný interval | 1/4-1/32 |
| Doba trvání ochranného intervalu [ms] | 28-3,5 |
| Doba trvání symbolu [ms] | 140-115,5 |
| Maximální vzdálenost vysílačů [km] | 8,9-1,05 |

4 SIMULAČNÍ PROGRAM PRO DVB-H

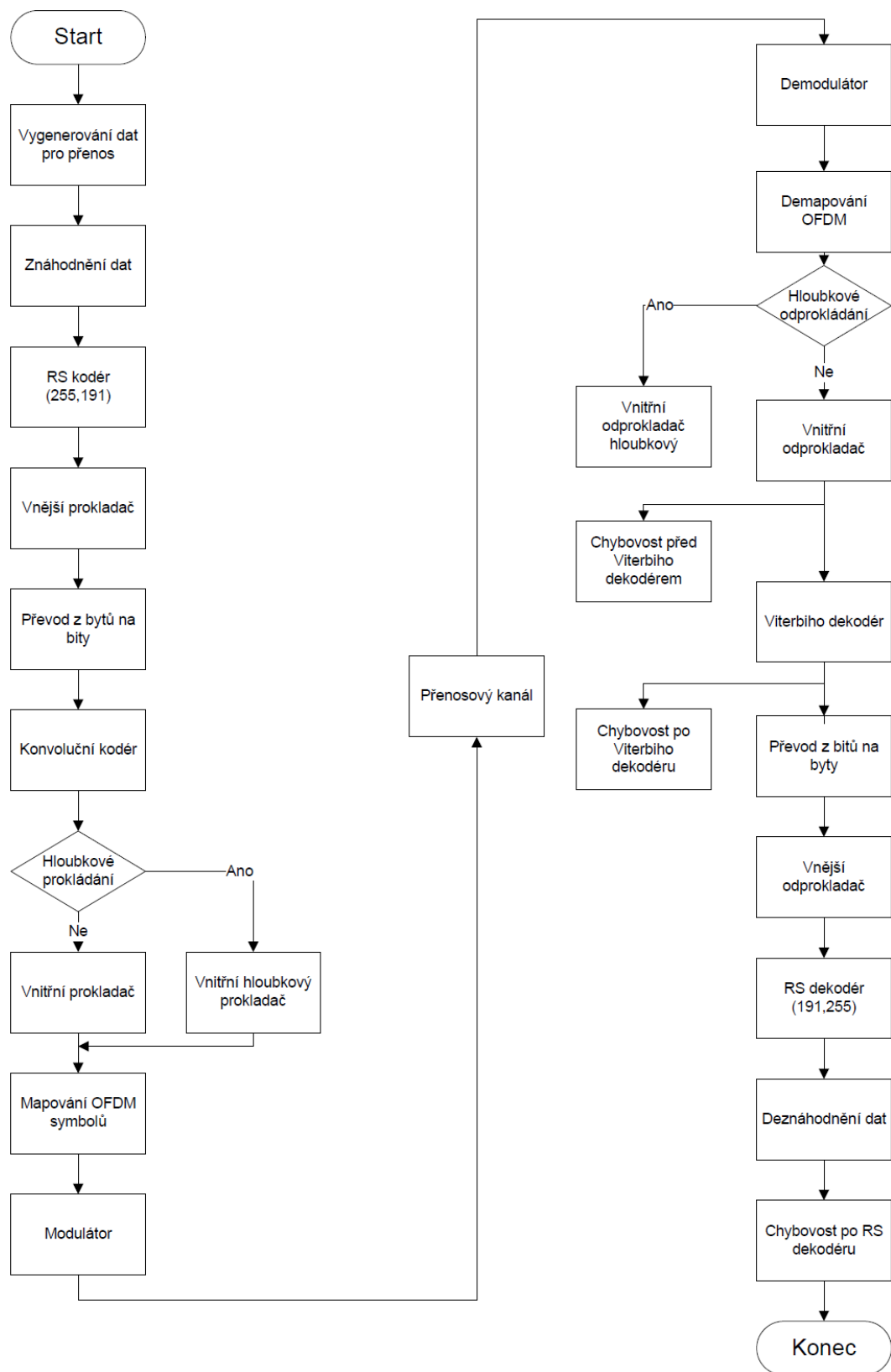
V následující části budou popsány jednotlivé dílčí programy pro simulaci přenosu ve standardu DVB-H.

4.1.1 Popis hlavního programu

Hlavní program umožňuje v grafickém uživatelském rozhraní nastavit parametry simulace. Po spouštění simulace se napřed načtou zadané parametry, vygenerují přenášená data. Přenášená data představuje 100kbit náhodných bitů. Poté jsou programem postupně volány jednotlivé podprogramy. Po skončení simulace je vykreslen konstelační diagram na přijímači. Nakonec je zjištěna a zobrazena chybovost. K tomu je využito funkce *biterr*, která porovnává výstupní data z konvolučního kodéru a vnitřního odprokladače. Grafické rozhraní simulačního programu je na Obr. 4.1. a vývojový diagram programu je na Obr. 4.2.



Obr. 4.1: Grafické rozhraní simulačního programu standardu DVB-H



Obr. 4.2: Vývojový diagram programu pro simulaci DVB-H

4.1.2 Znáhodnění přenášených dat

Úkolem tohoto podprogramu je zajištění energetického rozptylu přenášených dat. Pro znáhodnění je napřed vygenerována pseudonáhodná sekvence dlouhá 12224 bitů. Délka sekvence vychází z toho, že data jsou přenášena v blocích dlouhých 191 bytů a sekvence se začne opakovat po osmi blocích dat. Při generování této sekvence je použita předem známá inicializační sekvence. Před znáhodněním je nutné upravit délku vstupních dat tak, aby byla celistvým násobkem délky pseudonáhodné sekvence. Znáhodnění se děje pomocí funkce *xor* aplikované na přenášená data a pseudonáhodnou sekvenci jak je popsáno v kapitole 2.5.1.

4.1.3 Reed-Solomonův kodér

Reed-Solomonův kodér pracuje s byty, takže je nutné napřed znáhodněné bity převést na byty. Kodér pracuje tak, že k vstupním blokům dat dlouhých 191 bytů přidá 64 zabezpečovacích bytů. To umožní opravit až 32 chybných bytů v bloku. Délka vstupních dat se musí upravit tak, aby byla celistvým násobkem 191. Vstupní data jsou uspořádána do matice s délkou řádků 191 bytů. Z této matice je generováno pomocí funkce *gf* Galoisovo pole s 8 bity na symbol. Pro vlastní kódování je použita funkce *rsenc*. Zakódovaná data je nutné převést na proměnou typu *double* a poté jsou přeskládána do řádku. Kódování je v MATLABu zapsáno následovně

```
rs = rsenc(msg,m,n) ;
```

kde *msg* jsou kódovaná data, *m* a *n* je počet výstupních a vstupních bytů kodéru.

4.1.4 Vnější prokladač

Úkolem prokladače je rozprostřít chyby vzniklé při přenosu tak, aby je měli opravné kódy větší šanci opravit. Vstupní data musí mít délku celého násobku 255, aby zaplnili beze zbytku matici prokladače. Matice prokladače má 15 řádků a 17 sloupců celkem tedy pojme 255 symbolů. Data jsou zapisována po řádcích do matice prokladače. Z této matice jsou vyčítána po sloupcích. Princip prokladače je popsán v kapitole 2.5.3.

4.1.5 Konvoluční kodér

Konvoluční kodér pracuje s jednotlivými bity a tak před vstupem do kodéru jsou vstupní data převedena na bity. Následně jsou vstupní data přeskládána do jednoho řádku. Kromě vstupních dat jsou vstupními parametry ještě *tblen*, který je nastaven na hodnotu 48 [11]. Nápopověda MATLABu doporučuje jeho hodnotu jako pětinásobek omezení délky kódu. *Tblen* určuje délku zpětného běhu kodéru a *pomer*, který určuje kódovací poměr kodéru. Ten je určen vytečkováním určitých bitů ve výstupních datech kodéru. Délka vstupních dat musí být upravena tak, aby byla beze zbytku dělitelná délkou proměnné *puncpat*, která určuje vytečkovávací vzor. Kódování se použije funkce *convenc*. Ta ke své činnosti kromě vstupních dat a vytečkovávacího vzoru potřebuje ještě proměnou *trellis*, která definuje konvoluční kodér. K jejímu vytvoření je použito funkce *poly2trellis*, ta je v MATLABu zapsána následovně:

```
trellis = poly2trellis(7,[171 133]).
```

Funkce *convenc* je potom zapsána takto

```
vystupkonvkod = convenc(msg,trellis,puncpat);
```

msg jsou kódovaná data.

4.1.6 Vnitřní prokladač

Vstupními parametry tohoto podprogramu jsou kromě výstupních dat z konvolučního kodéru také typ použité vnitřní modulace a OFDM mód. Vstupní data jsou napřed upravena tak, aby jejich délka byla celistvým násobkem 126. Potom jsou tato data rozdělena do n dílčích toků podle zvolené vnitřní modulace. Potom následuje definice permutačních funkcí $H(w)$ jednotlivých bitových prokladačů. Následně jsou podle těchto funkcí jsou potom data proložena pomocí následujícího kódu

```
for k=1:radky
    for w=1:126
        for l=1:length(vystupib)/126
            vystupib(k,(l-1)*126+w)=rozdel(k,(l-1)*126+H(k,w));
        end;
    end;
end;
```

V další části jsou nadefinovány parametry jednotlivých OFDM módů a podle zvoleného OFDM módu je vytvořena permutační funkce $H(q)$ pro symbolový prokladač. Délka vstupních dat symbolového prokladače musí být celistvým násobkem délky jednoho OFDM symbolu. Na závěr jsou data namapována symbolovým prokladačem do jednotlivých OFDM symbolů. Proměnné, které nebudou v dalším běhu programu potřeba jsou odstraněny, aby nezpomalovali běh programu.

V případě, že je použito hloubkové prokládání tak je z hlavního programu zavolán hloubkový vnitřní prokladač. Tento prokladač je z větší části stejný jako normální vnitřní prokladač. V symbolovém prokladači je, ale vždy použita pro proložení dat permutační funkce $H(q)$ pro OFDM mód 8k. Proložená data jsou potom mapována do jednotlivých OFDM symbolů podle zvoleného OFDM módu. Prokládání pomocí permutační funkce $H(q)$ pro mód 8k je v MATLABu zapsáno následovně:

```
for i = 1:pocetOFDM
    for j = 1:Nm
        if rem(i,2) == 0
            pamet2((i-1)*Nm+1+Hq(j),:) = pamet((i-1)*Nm+j,:);
        else
            pamet2((i-1)*Nm+j,:) = pamet((i-1)*Nm+1+Hq(j),:);
        end;
    end;
end;
```

4.1.7 Modulátor

Vstupními parametry tohoto podprogramu je typ použité vnitřní modulace a výstupní data z vnitřního prokladače. Modulace je realizována pomocí funkce *qammod*. Tato funkce pracuje s daty v dekadickém formátu, a proto jsou hned na začátku vstupní data do tohoto formátu převedena. Tato funkce má jinak definovaný konstelační diagram než standard DVB-H a proto je definován vlastní dle [13].

4.1.8 Přenosový kanál

Vstupním parametrem podprogramu je poměr signál šum a typ použitého přenosového kanálu. Je možno zvolit AWGN, Riceův a nebo Rayleighův typ kanálu. AWGN kanál je definován pomocí funkce *awgn*. Celý kanál je v MATLABu popsán následovně

```
prijato = awgn(modulovano,SNR,'measured');
```

proměnná *modulovano* představuje modulovaná data, která jsou výstupem modulátoru, *SNR* je proměnná určující poměr signálu a šumu v kanále. Riceův kanál je definován následovně:

```
chan = ricianchan(ts,fd,k,tau_rice,pdb_rice);
```

proměnné *tau_rice* a *pdb_rice* určují zpoždění a výkonovou úroveň signálů přicházejících různými cestami. Proměnná *ts* určuje vzorkovací frekvenci, Dopplerův posun frekvence je určen proměnnou *fd*. Proměnná *k* určuje tzv. K-faktor, který udává poměr mezi úrovní přímé a nepřímých cest signálu. Potom je signál filtrován a je k němu přičten šum tam jako u AWGN kanálu. Rayleighův kanál je definován stejně jako Riceův, pouze je využito funkce *rayleighchan*.

4.1.9 Demodulátor

Vstupním parametrem demodulátoru je opět typ použité vnitřní modulace. Demodulátor je realizován pomocí funkce *qamdemod* s předdefinovanými konstelačními diagramy podle [13]. Součástí demodulátoru je zpětný převod z dekadického formátu dat na binární. Délka jednotlivých binárních slov závisí na použité modulaci.

4.1.10 Vnitřní odprokladač

Vstupními parametry tohoto podprogramu je počet přidáných bitů před symbolovým a bitovým prokladačem, typ vnitřní modulace, mód OFDM a počet OFDM symbolů. Na úvod jsou opět definovány parametry OFDM módu a vygenerována permutační funkce symbolového prokladače $H(q)$. Ta je potom použita k demapování dat z OFDM symbolů. Potom jsou odebrány přidáné bity pro úpravu délky dat před symbolovým prokladačem. Následuje definice permutačních funkcí bitových prokladačů $H(w)$ a bitové odprokládání. Nakonec jsou data opět spojena do jednoho toku a odstraněny přidáné bity. Opět jsou odstraněny proměnné, které nebudou v dalším běhu programu potřeba.

Při použití hloubkového prokládání je použit pro odprokládání hloubkový vnitřní odprokladač. Ten je stejně jako prokladač z větší části stejný jako normální prokladač. Pouze po demapování OFDM symbolů, jsou data ještě odprokládána pomocí

permutační funkce $H(q)$ pro OFDM mód 8k.

4.1.11 Viterbiho dekodér

Jeho vstupními daty jsou odprokládaná data z vnitřního prokladače, počet nul přidaných v konvolučním kodéru, použitý kódový poměr konvolučního kodéru, délka zpětného běhu kodéru $tblen$, hodnota a význam parametru je popsána v kapitole 4.1.5. a velikost vstupních dat konvolučního kodéru. Pro dekódování je stejně jako v konvolučním kodéru vygenerována proměnná $trellis$. Vlastní dekódování se děje prostřednictvím funkce $vitdec$.

4.1.12 Vnější odprokladač

Pracuje s daty ve formě bytů, proto jsou před vstupem do něj data převedena z bitů na byty. Operace prováděné s daty jsou přesně inverzní k operacím prováděným ve vnějším prokladači popsaném v kapitole 4.1.4.

4.1.13 Reed-Solomonův dekodér

Vstupují do něj odprokládaná data z vnějšího prokladače. Dekodér dokáže opravit na základě 64 přidaných bytů v kodéru až 32 chybných bytů v přijatém bloku dat. Stejně jako v kodéru jsou i v dekodéru data zapsána do matice a z té je následovně vygenerováno pomocí funkce gf Galoisovo pole. Dekódování je v MATLABu zapsáno následovně

```
[rsd,op] = rsdec(galpole,m,n);
```

kde proměnná $galpole$ reprezentuje zakódovaná data, proměnné m a n určují počet vstupních a výstupních bitů kodéru. Do proměnné op se uloží počet opravených symbolů případně informace, že vstupní data byla tak poškozená, že se je nepodařilo opravit.

4.1.14 Deznáhodnění dat

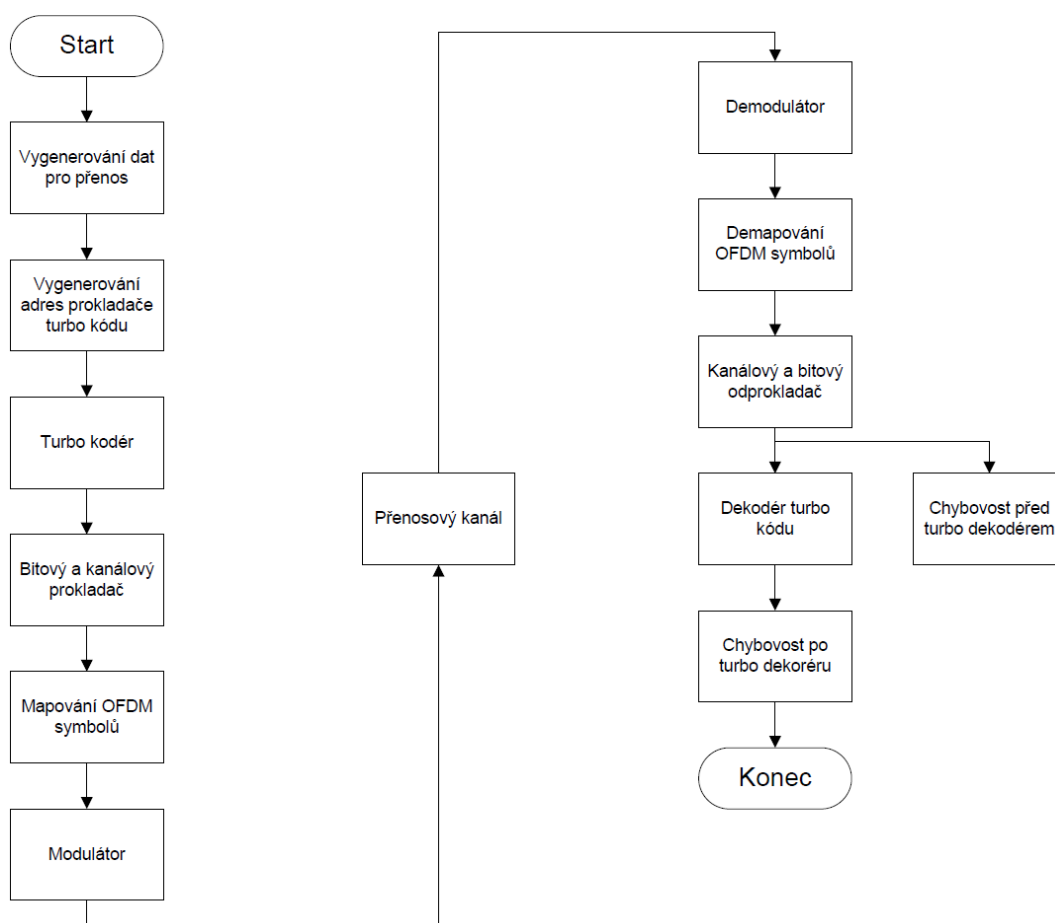
Vstupní data jsou převedena na bity. Potom je vygenerována stejná pseudonáhodná sekvence jako byla použita při znáhodnění dat a data jsou potom vynásobena touto sekvencí pomocí funkce xor .

5 SIMULAČNÍ PROGRAM PRO DVB-SH-A

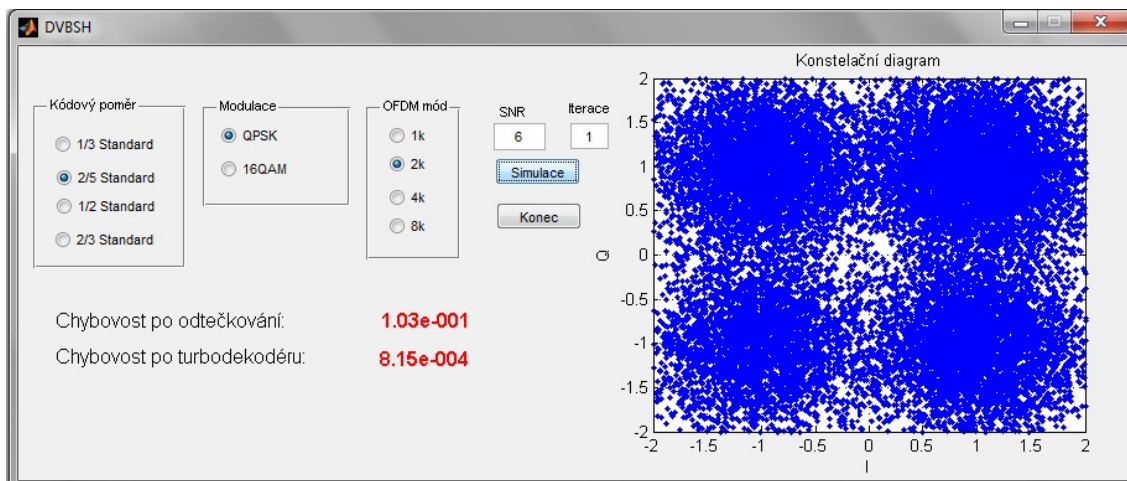
Vzhledem k podobnosti se standardem DVB-H budou v této části popsány hlavně rozdíly oproti tomuto standardu. Model použitý pro simulaci standardu DVB-SH-A se v určitých částech odlišuje od standardu. Těmto rozdílům bude věnována pozornost v následujícím textu.

5.1.1 Popis hlavního programu

Hlavní program slouží ke stejnému účelu jako u standardu DVB-H, stejná je i jeho funkce. Jako přenášená data je zde vygenerováno 12277 bitů k nimž jsou přidány 3 tail bity. Těchto 12280 bitů tvoří jeden rámeček turbo kódu. Standard DVB-SH využívá rámce turbo kódu dlouhé 12282 bitů. Dále je zavolána funkce, která vygeneruje 12280 adres pro turbo prokladač. Grafické rozhraní je upraveno podle nastavitelných parametrů standardu DVB-SH-A (Obr 5.2). Vývojový diagram programu pro simulaci standardu DVB-SH-A je na Obr. 5.1.



Obr. 5.1: Vývojový diagram programu pro simulaci DVB-SH-A.



Obr. 5.2: Grafické rozhraní simulačního programu standardu DVB-SH-A

5.1.2 Turbo kodér

Místo 3GPP2 turbo kodéru je využito paralelně zřetěženého turbo kódu (PCCC). Jeho maximální kódový poměr je 1/3. Hlavním důvodem této úpravy je, že dekodér 3GPP2 turbo kódu na rozdíl od kodéru není nikde popsán. PCCC kód využívá dva paralelní rekuzivní konvoluční kodéry, jejichž vnitřní struktura je definována pomocí generujících polynomů $G_1=17_{\text{OCT}}$ a $G_2=15_{\text{OCT}}$. Bity jsou před vstupem do druhého kodéru přeskládány podle adres vygenerovaných dříve. Složitost původního 3GPP2 prokladače byla další z důvod proč byl tento kód nahrazen. Poté jsou data vytečkována pro dosažení zvoleného kódového poměru. Proces tečkování je stejný jako u původního kodéru, ale tečkovací vzory byly upraveny pro nový kodér [18].

5.1.3 Bitový a kanálový prokladač

Vstupním parametrem je kódový poměr. Na základě kódového poměru je napřed vygenerována permutační funkce bitového prokladače $H(w)$. Tato funkce je potom použita pro proložení bitů. Tato část programu je zjednodušena, protože není realizováno vynechání každého 126. a 127. bitu vstupních dat. Kanálový prokladač je realizován jako náhodný prokladač pomocí funkce MATLABu *randintrlv*. Vlastní zápis prokladače v MATLABu vypadá následovně [9]:

```
prolozeno = randintrlv(prolozeno1,length(prolozeno1));
```

Další podprogramy mapování OFDM symbolů, modulátor, demodulátor a demapování OFDM symbolů, jsou stejné jako u standardu DVB-H, pouze respektují odlišnosti obou standardů. Takže je přidán OFDM mód 1k a není použita vnitřní modulace 64-QAM. Je použit pouze AWGN přenosový kanál.

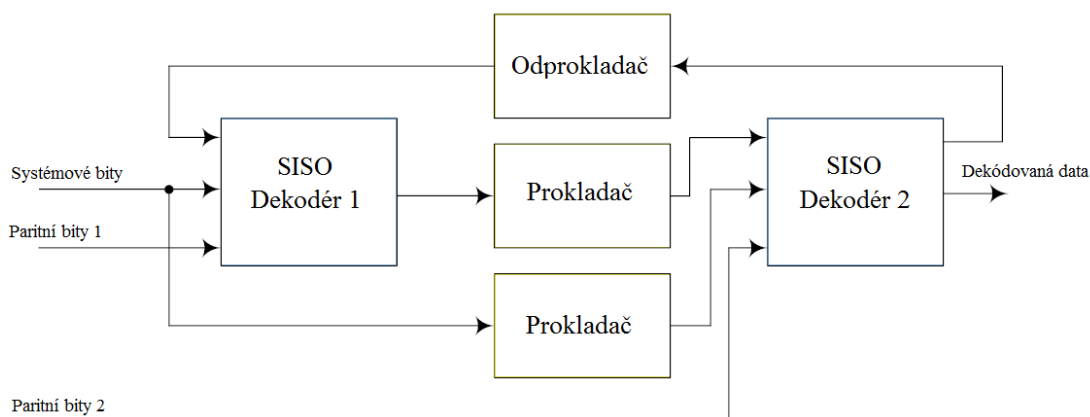
5.1.4 Kanálový a bitový odprokladač

Vstupními parametrem je kódový poměr. Napřed jsou vstupní data odprokládána kanálovým odprokladačem, ten je realizován pomocí funkce *randdeintrlv*. Následovně je podle zvoleného poměru je opět vygenerována permutační funkce blokového prokladače. S pomocí této funkce jsou potom data odprokládána. Na závěr jsou zde data

odtečkována. To je realizováno tak, že na místo vytečkovaných bitů jsou dosazeny nuly.

5.1.5 Turbo dekodér

Napřed jsou vstupní data upravena tak, že hodnota nulových bitů je změněna na -1. To je nutné pro správné dekódování turbo kódu. Následuje rozdělení dat na systémové a paritní bity. Potom jsou systémové bity a první sada paritních bitů poslány na dekódování do prvního SISO (Soft-Input Soft-Output) dekodéru. A-priorní informace je při první iteraci nulová. Po průchodu tímto dekodérem je získána extrinsická informace, která po proložení turbo pokladačem je použita jako a-priorní informace pro druhý SISO dekodér. Dalšími vstupy tohoto dekodéru jsou systémové bity a druhá sada paritních bitů. Po průchodu druhým SISO-MAP dekodérem je pomocí tvrdého rozhodování získána dekódovaná sekvence systémových bitů. A-priorní informace je odprokládána a použita pro první SISO-MAP dekodér při následující iteraci. Doporučený počet iterací je 8. Schéma turbodekodéru je na Obr. 5.3.[14], [15].



Obr. 5.3: Schéma turbodekodéru (převzato z [15])

6 VÝSLEDKY SIMULACÍ

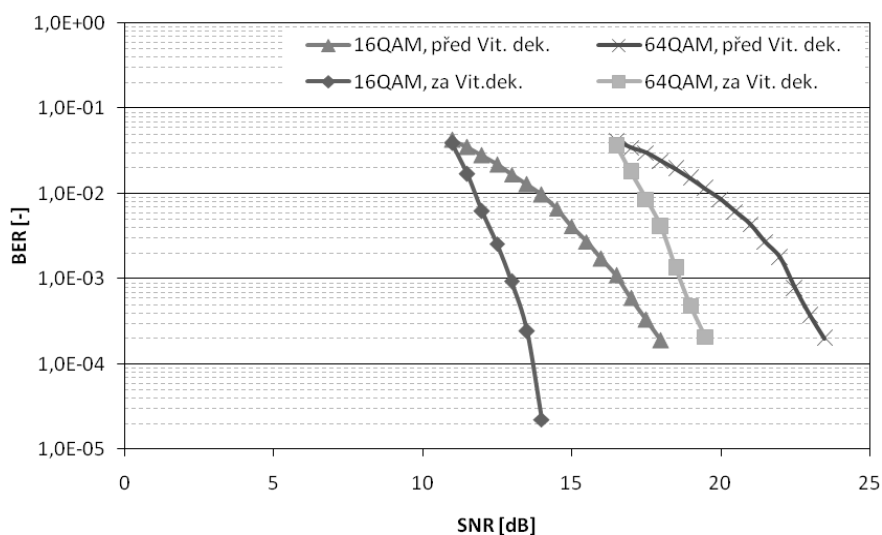
6.1 Simulace standardu DVB-H

6.1.1 Simulace AWGN kanálu

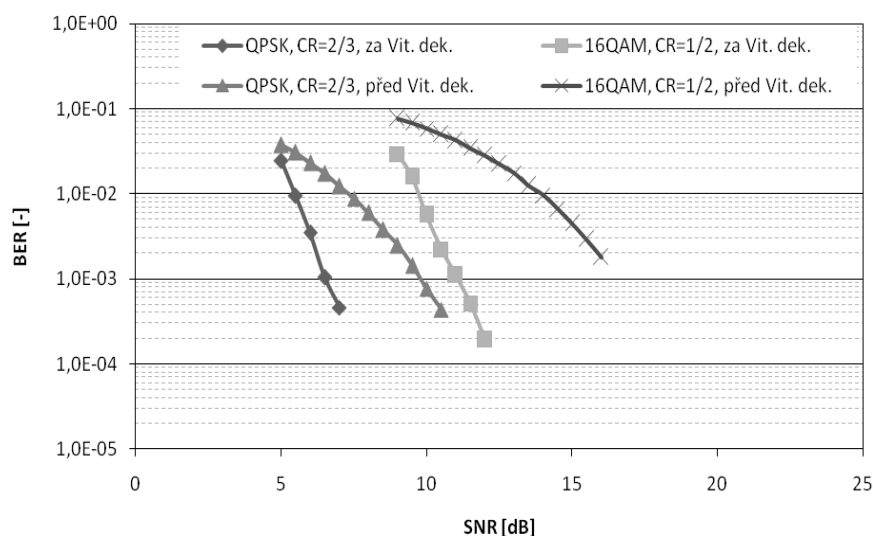
Standard DVB-H požaduje pro dosažení bezchybného příjmu chybovost za Viterbiho dekodérem menší než $2 \cdot 10^{-4}$ [5]. C/N pro dosažení chybovosti za Viterbiho dekodérem menší než $2 \cdot 10^{-4}$ jsou uvedeny v Tab. 6.1. Závislost chybovosti za Viterbiho dekodérem na poměru C/N je na Obr. 6.1. až Obr. 6.3.

Tab. 6.1: C/N pro $\text{BER} < 2 \cdot 10^{-4}$, AWGN kanál

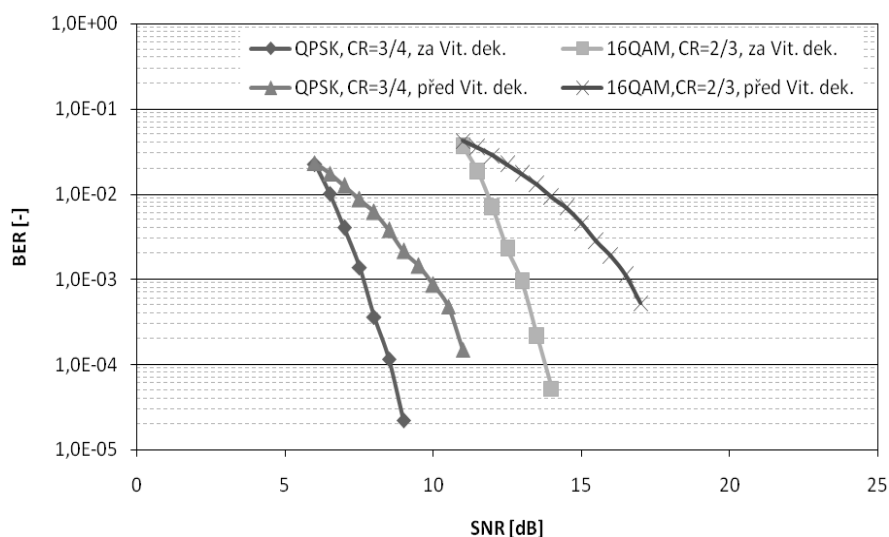
| Typ přijímače | OFDM mód | Kódový poměr | Modulace | C/N [dB] pro BER za Viterbiho dekodérem $< 2 \cdot 10^{-4}$ |
|---------------|----------|--------------|----------|---|
| Pevný | 8k | 2/3 | 16QAM | 13,6 |
| Pevný | 8k | 2/3 | 64QAM | 19,5 |
| Přenosný | 4k | 2/3 | QPSK | 7,2 |
| Přenosný | 4k | 1/2 | 16QAM | 11,9 |
| Mobilní | 2k | 3/4 | QPSK | 8,2 |
| Mobilní | 2k | 2/3 | 16QAM | 13,6 |



Obr. 6.1: Závislost BER C/N pro pevný přijímač



Obr. 6.2: Závislost BER na C/N pro přenosný přijímač



Obr. 6.3: Závislost BER na C/N pro mobilní přijímač

Výsledky simulací při zvolených parametrech vysílání ukazují, že pro dosažení požadované maximální chybovosti na výstupu Viterbiho dekodéru je při použití modulace 16QAM potřeba poměr C/N o 6 dB větší, než u modulace QPSK. Modulace 64QAM potřebuje poměr lepší o 12 dB. Při simulaci v AWGN kanálu a za současného použití různých OFDM módů pro jednotlivé přijímače se neprojevil rozdíl mezi pevným a mobilním přijímačem a výsledný poměr C/N pro dosažení požadované chybovosti byl stejný. Vzhledem k použitému přenosovému kanálu bylo možné tento výsledek očekávat.

6.1.2 Riceův kanál

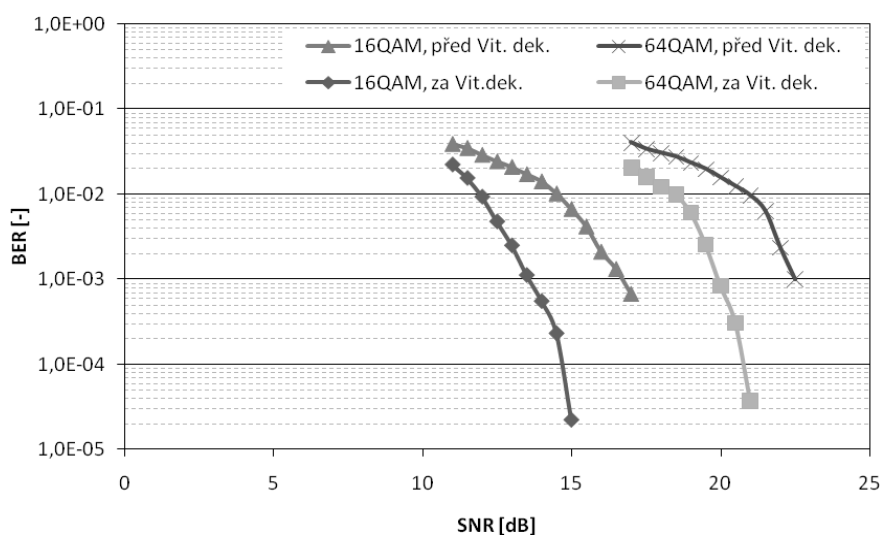
C/N pro dosažení chybovosti za Viterbiho dekodérem menší než $2 \cdot 10^{-4}$ jsou uvedeny v Tab. 6.3. Závislost chybovosti za Viterbiho dekodérem na poměru C/N je na Obr. 6.4. až Obr. 6.6. Parametry Riceova kanálu jsou v Tab. 6.2, K faktor je 10. Proměnná τ udává zpoždění jednotlivých cest signálu, proměnná P_{dB} udává jejich úroveň [17].

Tab. 6.2: Parametry Riceova kanálu [17]

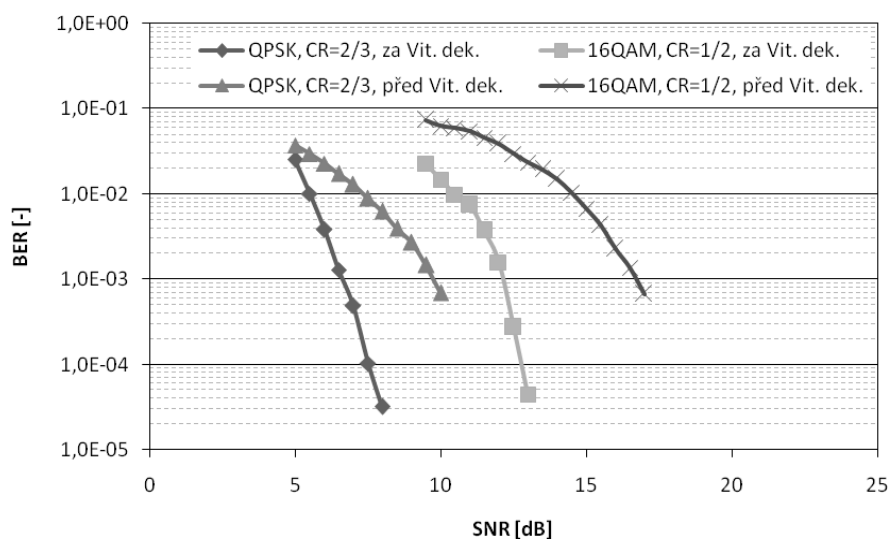
| | | | | | | |
|---------------|---|-------|-------|-------|------|-------|
| $\tau[\mu s]$ | 0 | 0,5 | 2,75 | 1,95 | 0,45 | 3,25 |
| $P_{db}[dB]$ | 0 | -16,2 | -18,8 | -16,3 | -19 | -17,5 |

Tab. 6.3: C/N pro $BER < 2 \cdot 10^{-4}$, Riceův kanál

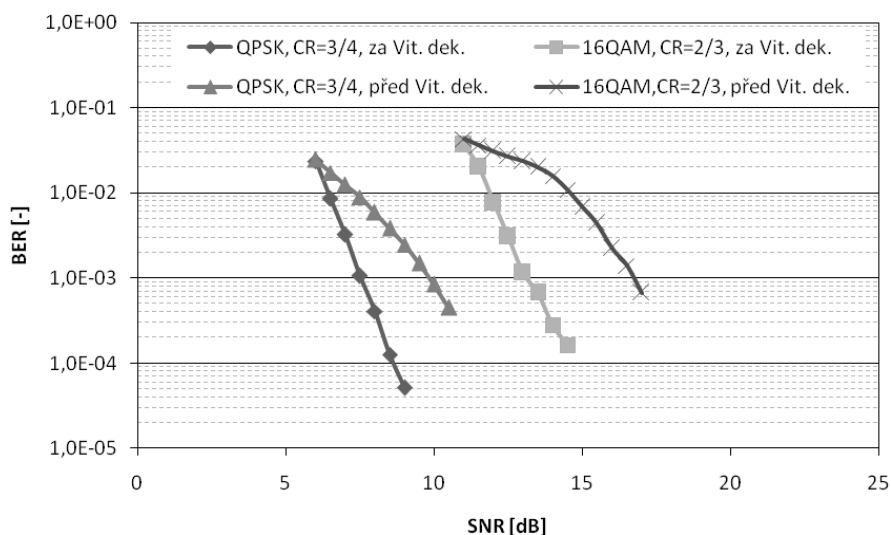
| Typ přijímače | OFDM mód | Kódový poměr | Modulace | Hloubkové prokládání | C/N [dB] pro BER za Viterbiho dekodérem $< 2 \cdot 10^{-4}$ |
|---------------|----------|--------------|----------|----------------------|---|
| Pevný | 8k | 2/3 | 16QAM | Ne | 14,8 |
| Pevný | 8k | 2/3 | 64QAM | Ne | 21,0 |
| Přenosný | 4k | 2/3 | QPSK | Ne | 7,3 |
| Přenosný | 4k | 1/2 | 16QAM | Ne | 12,9 |
| Mobilní | 2k | 3/4 | QPSK | Ne | 8,5 |
| Mobilní | 2k | 2/3 | 16QAM | Ne | 14,5 |



Obr. 6.4: Závislost BER C/N, pro pevný přijímač



Obr. 6.5: Závislost BER na C/N, pro přenosný přijímač



Obr. 6.6: Závislost BER na C/N, pro mobilní přijímač

Při použití Riceova kanálu se projevila vysoká odolnost modulace QPSK proti vícecestnému šíření. U modulace QPSK se nutný poměr C/N pro dosažení požadované chybovosti oproti AWGN kanálu téměř nezměnil. U modulace 16QAM je tento poměr nutné zvýšit pro dosažení požadované chybovosti přibližně o 1 dB a u modulace 64QAM o 1,5 dB. Stejně jako při použití AWGN kanálu se neprojevilo použití různých typů přijímačů a tedy použití různých OFDM módů. To je způsobeno tím, že v simulaci není použita tvorba OFDM rámců a ochranný interval.

6.1.3 Rayleighův kanál

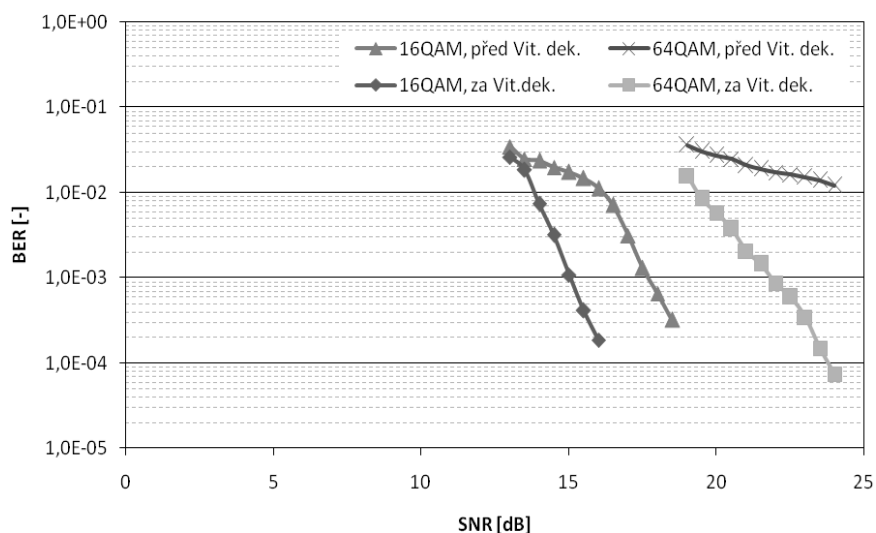
C/N pro dosažení chybovosti za Viterbiho dekodérem menší než $2 \cdot 10^{-4}$ jsou uvedeny v Tab. 6.5. Závislost chybovosti za Viterbiho dekodérem na poměru C/N je na Obr. 6.7. až Obr. 6.9. Parametry Rayleighova kanálu jsou v Tab. 6.4. Proměnná τ udává zpoždění jednotlivých cest signálu, proměnná P_{dB} udává jejich úroveň [17].

Tab. 6.4: Parametry Rayleighova kanálu [17]

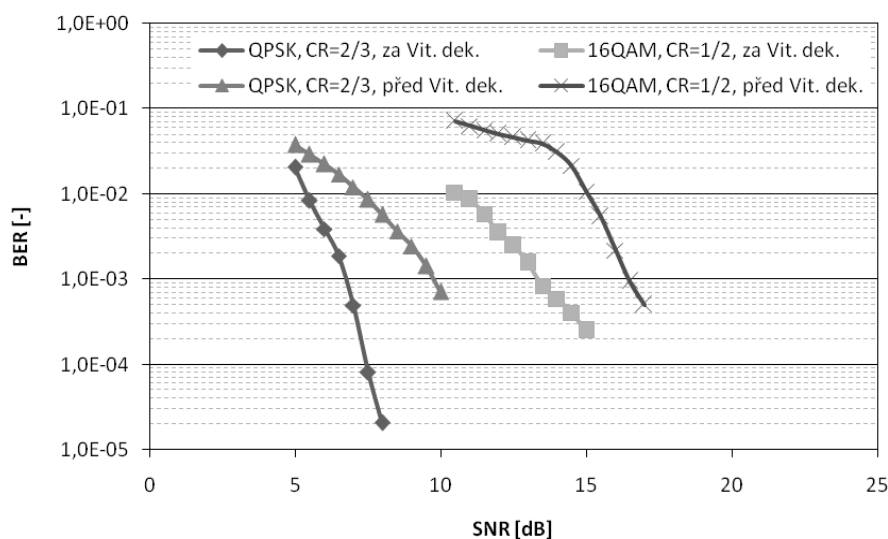
| | | | | | | |
|---------------|------|------|------|------|------|------|
| $\tau[\mu s]$ | 0,5 | 2,75 | 1,95 | 0,45 | 3,25 | 0,85 |
| P_{dB} | -6,2 | -8,8 | -6,4 | -9 | -7,5 | -10 |

Tab. 6.5: C/N pro $BER < 2 \cdot 10^{-4}$, Rayleighův kanál

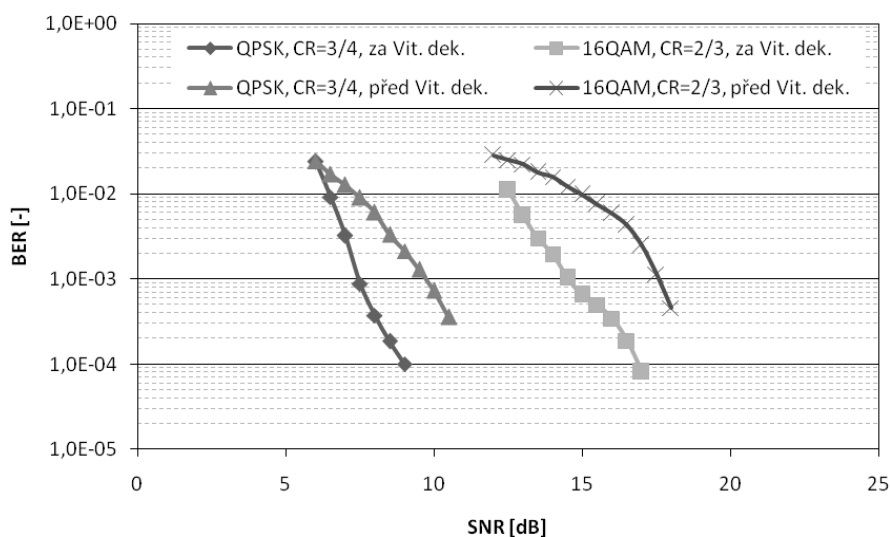
| Typ přijímače | OFDM mód | Kódový poměr | Modulace | Hloubkové prokládání | C/N [dB] pro BER za Viterbiho dekodérem $< 2 \cdot 10^{-4}$ |
|---------------|----------|--------------|----------|----------------------|---|
| Pevný | 8k | 2/3 | 16QAM | Ne | 16,5 |
| Pevný | 8k | 2/3 | 64QAM | Ne | 23,5 |
| Přenosný | 4k | 2/3 | QPSK | Ne | 7,3 |
| Přenosný | 4k | 1/2 | 16QAM | Ne | 15,3 |
| Mobilní | 2k | 3/4 | QPSK | Ne | 8,7 |
| Mobilní | 2k | 2/3 | 16QAM | Ne | 16,7 |



Obr. 6.7: Závislost BER na C/N, pro pevný přijímač



Obr. 6.8: Závislost BER C/N, pro přenosný přijímač



Obr. 6.9: Závislost BER na C/N, pro mobilní přijímač

Simulace opět potvrdily vysokou odolnost modulace QPSK. Nutný poměr C/N pro dosažení požadované chybovosti se oproti AWGN kanálu opět téměř nezměnil. U modulace 16QAM je potřeba pro dosažení požadované chybovosti poměr C/N přibližně o 3 dB větší, než při použití AWGN kanálu. U modulace 64QAM je tento rozdíl přibližně 4 dB. Opět se neprojevil vliv různých typů přijímačů, pro které je nastavený různý OFDM mód. K simulaci vlivu jednotlivých OFDM módů na chybovost by bylo potřeba komplexnější aplikace pro simulaci. Tato aplikace by musela obsahovat také tvorbu OFDM rámců, vkládání ochranného intervalu a ekvalizaci.

6.1.4 Hloubkové prokládání

Simulacemi bylo zjištěno, že hloubkové prokládání nemá příliš velký vliv na dosažené hodnoty chybovosti. V případě AWGN kanálu je možné říct, že nemá žádný vliv. Částečně se jeho vliv projeví v únikových kanálech. Aby bylo možné posoudit jeho vliv na dosahované chybovosti přesněji, bylo by do simulace potřeba zahrnout i tvorbu OFDM rámců, ochranný interval a ekvalizaci. Porovnání dosaženého počtu chyb v přijatých datech při použití hloubkového prokládání je v Tab. 6.6. Při simulacích byl použit Riceův kanál a vnitřní modulace QPSK.

Tab. 6.6: Vliv hloubkového prokládání

| C/N [dB] | OFDM mód | Kódový poměr | Hloubkové prokládání | Počet chyb za Viterbiho dekodérem |
|----------|----------|--------------|----------------------|-----------------------------------|
| 6 | 2k | 3/4 | Ne | 3525 |
| 6 | 2k | 3/4 | Ano | 2941 |
| 7 | 2k | 3/4 | Ne | 505 |
| 7 | 2k | 3/4 | Ano | 394 |
| 6 | 4k | 2/3 | Ne | 375 |
| 6 | 4k | 2/3 | Ano | 291 |
| 8 | 4k | 5/6 | Ne | 877 |
| 8 | 4k | 5/6 | Ano | 575 |

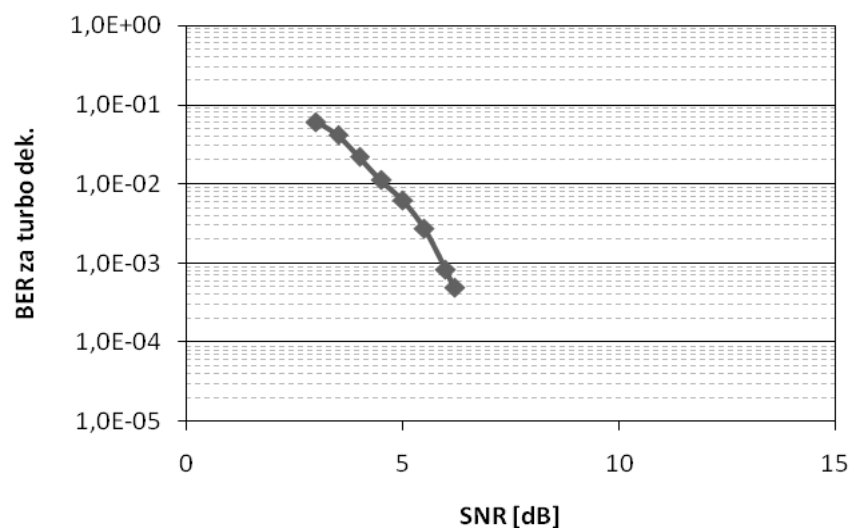
6.2 Simulace standardu DVB-SH-A

6.2.1 AWGN kanál

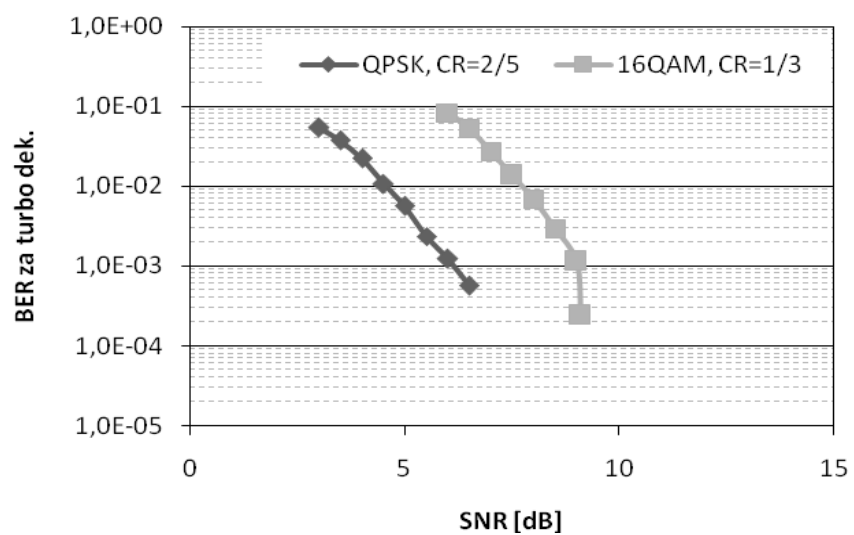
Ve standardu DVB-SH je požadována chybovost za turbo dekodérem menší než 10^{-5} [16]. Hodnoty C/N pro dosažení nižší chybovosti než je 10^{-5} jsou v Tab. 6.7. Při simulaci byla použita pouze 1 iterace při dekódování turbo kódu. Závislost chybovosti za turbo dekodérem na C/N je na Obr. 6.10 až 6.12.

Tab. 6.7: C/N pro $\text{BER} < 10^{-5}$

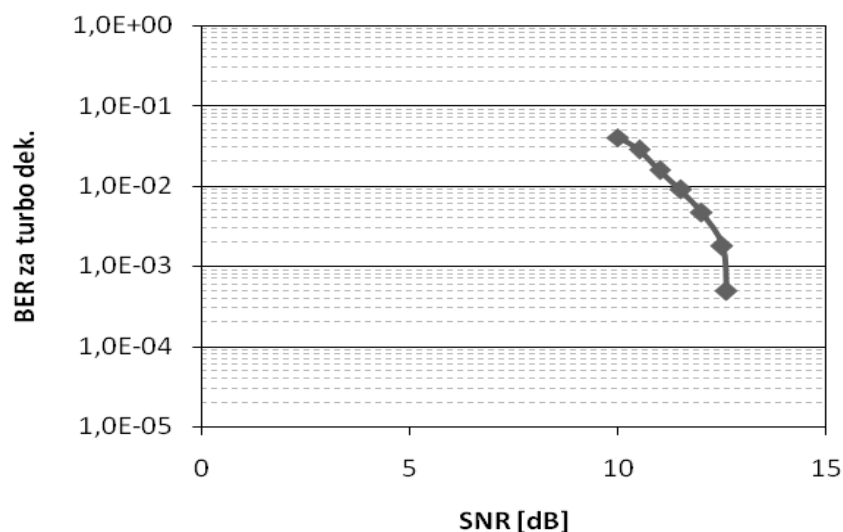
| Typ přijímače | OFDM mód | Kódový poměr | Modulace | C/N [dB] pro $\text{BER} < 10^{-5}$ za turbo dekodérem |
|---------------|----------|--------------|----------|--|
| Satelitní | 1k | 2/5 | QPSK | 6,3 |
| Přenosný | 4k | 2/5 | QPSK | 6,6 |
| Přenosný | 4k | 1/3 | 16QAM | 9,2 |
| Mobilní | 2k | 2/5 | 16QAM | 12,7 |



Obr. 6.10: Závislost BER za turbo dekodérem na C/N, satelitní přijímač



Obr 6.11: Závislost BER za turbo dekodérem na C/N, přenosný přijímač



Obr. 6.12: Závislost BER za turbo dekodérem na C/N, mobilní přijímač

Ze získaných výsledků je patrné, že systém DVB-SH-A opravdu potřebuje pro dosažení požadované chybovosti menší poměr C/N než systém DVB-H. Pro dosažení požadované úrovně chybovosti je při použití kódového poměru 1/3 potřeba poměr C/N pouze 9 dB. Při použití turbo kódu s kódovým poměrem 2/5 tato modulace potřebuje pro požadovanou chybovost, aby poměr C/N byl roven přibližně 13 dB. Modulace QPSK pro požadovanou chybovost potřebuje poměr C/N přibližně 6,5 dB. Lze očekávat další zlepšení výsledků, při použití většího počtu iterací. Stejně jako při simulaci systému DVB-H se neprojevil rozdíl mezi jednotlivými typy přijímačů při použití AWGN kanálu. Pro simulaci vlivu použitého OFDM módu by aplikace pro simulaci musela obsahovat tvorbu OFDM rámců, ochranný interval a ekvalizaci. Pro simulaci by také bylo vhodné použít některý z únikových kanálů.

7 ZÁVĚR

V práci byly popsány systémy mobilní digitální televize DVB-H a DVB-SH. Hlavní pozornost byla věnována kanálovým kódům použitým v těchto systémech. Na základě získaných poznatků byla vytvořena pro každý standard aplikace v MATLABu pro simulaci přenosu. Parametry pro simulace byly voleny tak, aby reprezentovaly různé druhy přijímačů, jejichž použití se v systémech předpokládá.

U systému DVB-H byly při simulaci použity také únikové kanály. Pro přesnější simulaci přenosu v únikových kanálech by bylo potřeba vytvořit komplexnější aplikace pro simulaci, protože v těchto kanálech se uplatní vliv ekvalizace a ochranného intervalu na celkovou chybovost. Stejně tak dělení přijímačů určuje pouze nastavení parametrů pro simulaci. Při simulaci není uvažován vliv Dopplerova posunu frekvence způsobený vlivem pohybu mobilního a přenosného přijímače. Přes zmíněná omezení simulací je, ale ze získaných výsledků patrné, že použití vyššího kódového poměru zabezpečovacích kódů umožňuje snížit nutný poměr C/N na vstupu přijímače, a nebo je možné použít vnitřní modulaci, která má vyšší nároky poměr C/N . Ze získaných výsledků simulací systému DVB-H je také patrná vysoká odolnost modulace QPSK vůči vícecestnému šíření. Nároky na minimální poměr C/N pro dosažení požadované chybovosti se u této modulace při použití únikových kanálů téměř nezměnily. Oproti tomu modulace 16QAM při použití Riceově kanálu potřebuje o 1 dB lepší poměr C/N , než při uvažování AWGN kanálu. Při použití Rayleighova kanálu je rozdíl oproti AWGN kanálu vyšší než 2,5 dB. U modulace 64QAM rostou nároky na poměr C/N při použití únikových kanálů ještě výrazněji. Vliv hloubkového prokládání je patrný pouze při použití únikových kanálů, ale ani v nich nebyl nijak výrazný. Pro přesnější simulaci vlivu hloubkového prokládání by bylo potřeba doplnit aplikaci o tvorbu OFDM rámců a zařazení ochranného intervalu.

Při tvorbě aplikace pro simulaci standardu DVB-SH-A bylo nutné přikročit k nahrazení 3GPP2 turbo kodéru PCCC turbo kódem. Hlavním důvodem této změny je to, že dekodér 3GPP2 turbo kódu není nikde popsán. Konvoluční kanálový prokladač byl nahrazen náhodným prokladačem. Důvodem této změny byla paměťová náročnost konvolučního prokladače. I přes provedené změny oproti standardu DVB-SH-A poskytuje aplikace pro simulaci přenosu dobré výsledky. Ze simulací je patrná vysoká účinnost turbo kódu při malých poměrech C/N . Nedostatkem této aplikace je možnost simulovat pouze omezený počet kódových poměrů standardu DVB-SH-A a její nízká rychlost. Dlouhá doba simulace je způsobena náročným dekódováním turbo kódu.

SEZNAM LITERATURY

- [1] KRATOCHVÍL, T. *Digitální televizní systémy*. Prezentace k přednáškám. Brno: FEKT VUT v Brně, 2009.
- [2] FISHER, W. *Digital Video and Audio Broadcasting Technology*, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. ISBN 978-3-540-76357-4.
- [3] ETSI TR 102 377. *Digital Video Broadcasting (DVB); DVB-H Implementation Guidelines*, 2009.
- [4] STRAKA, T. *Televize v kapse* [Online]. Rohde&Schwarz, [cit.25.dubna 2010]. 5s., Dostupný z [www: <http://www.rohde-schwarz.cz/download/cz/Televize_v_kapse.pdf>](http://www.rohde-schwarz.cz/download/cz/Televize_v_kapse.pdf).
- [5] ZUMMAR, A. R., KŘIŠŤÁL, M. Nový přenosový standard DVB-H. *Sdělovací technika* [Online]. 2005, č.5 [cit.25.dubna 2010] s. 3–5. ISSN 0036–9942. Dostupný z [www: <http://www.stech.cz/sqlcache/05_05.pdf>](http://www.stech.cz/sqlcache/05_05.pdf).
- [6] KRATOCHVÍL, T. Standardy DVB pro zemské televizní vysílání a mobilní televizi. *Sdělovací technika* [Online]. 2009, č.3 [cit.25.dubna 2010] s. 3-7. ISSN 0036-9942. Dostupný z [www: <http://www.stech.cz/sqlcache/kratochvil.pdf>](http://www.stech.cz/sqlcache/kratochvil.pdf).
- [7] KRATOCHVÍL, T. *Digitální televizní systémy – Kanálové kódování a zabezpečení proti chybám přenosu*. Prezentace k přednáškám. Brno: FEKT VUT v Brně, 2009.
- [8] ETSI EN 300 744 V1.4.1. *Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television*. 1995.
- [9] ETSI EN 302 583. *Digital Video Broadcasting (DVB); Framing Structure, channel coding and modulation for Satellite Services to Handheld device (SH) below 3 GHz*, 2008.
- [10] FURHT B., AHSON S.. *Handbook of mobile broadcasting: DVB-H, DMB, ISDB-T, and MEDIAFLO*, Boca Raton: Taylor & Francis group, 2008. ISBN 978–1-4200–5386-9
- [11] OBRUČA M., *Simulace přenosu DVB-T v prostředí MATLAB*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 54s. Vedoucí diplomové práce Ing. Radim Štukavec
- [12] HÜTTL, O.; KRATOCHVÍL, T. DVB-SH Forward Error Correction Implementation in MATLAB In *Technical Computing Bratislava 2010*. Bratislava: RT Systems, s.r.o., 2010. s. 1-6. ISBN: 978-80-970519-0- 7.
- [13] ŠTUKAVEC, R.; KRATOCHVÍL, T. Simulation and Measurement of the Transmission Distortions of the Digital Television DVB-T/H Part 2: Hierarchical Modulation Performance. *Radioengineering*, 2010, roč. 19, č. 3, s. 429-436. ISSN: 1210- 2512.
- [14] KETTNER, Jakub. *Kódování Turbo kódy*. Zlín, 2010. diplomová práce (Ing.). Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky
- [15] POLÁK, L. Forward Error Correction of the Standard DVB- SH and its Simulation in Matlab. In *Proceedings of the 17th Conference Student EEICT 2011. Volume 3*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2011. s. 61-65. ISBN: 978-80-214-4273- 3.
- [16] ETSI TS 102 584. *Digital Video Broadcasting (DVB); DVB-SH Implementation Guidelines*, 2011.

- [17] POLÁK, L.; KRATOCHVÍL, T. Simulation of DVB- H Transmission in Gaussian and Fading Channels. In *Proceedings ELMAR- 2010*. Zadar, Croatia: ITG, Zagreb, 2010. s.231-234. ISBN: 978-953-7044-11- 4.
- [18] HANZO, L., LIEW, T. H., YEAP, B. L. *Turbo Coding, Turbo Equalisation and Space-Time Coding for Transmission over Fading Channels*. John Wiley & Sons, LTD, 2002, 748 p., ISBN 0-470-84726-3.

SEZNAM ZKRATEK

| | |
|---------------|--|
| AVC | - Pokročilé kódování videa |
| AWGN | - Aditivní bílý šum s normálním rozložením |
| BER | - Bitová chybovost |
| DVB-H | - Digitální televize pro ruční zařízení |
| DVB-SH | - Satelitní digitální televize pro ruční zařízení |
| DVB-T | - Digitální televize pozemní |
| FEC | - Dopředná chybová korekce |
| INT | - Tabulka popisující umístění IP/MAC datového toku |
| IP | - Internetový protokol |
| LDTV | - Televize s nízkým rozlišením |
| LTE | - Mobilní síť čtvrté generace |
| MAC | - Media access control |
| MPE | - Multi protocol encapsulation |
| MPEG | - Standard pro komprimaci videa |
| OFDM | - Ortogonální frekvenčně dělený multiplex |
| PDA | - Osobní digitální asistent |
| QAM | - Kvadrurní amplitudová modulace |
| QPSK | - Kvadrurní fázové klíčování |
| RS | - Reed-Solomonův kód |
| RSC | - Rekurzivní konvoluční kód |
| SISO | - Dekodér s měkkým vstupem i výstupem |
| SNR | - Poměr signál šum |
| TDM | - Časově dělený multiplex |
| TPS | - Nosné nesoucí informace o parametrech vysílání |
| UMTS | - Mobilní síť třetí generace |